

André Belmont Pereira
Eduardo Augusto Agnellos Barbosa

MANEJO DA IRRIGAÇÃO VIA CLIMA NA CULTURA DA MAÇÃ

Boletim Técnico Científico



Editora
UEPG

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA

REITOR EDITORA UEPG

Miguel Sanches Neto Beatriz Gomes Nadal

VICE-REITOR CONSELHO EDITORIAL

Everson Augusto Krum Beatriz Gomes Nadal (Presidente)

Adilson Luiz Chinelatto

PRÓ-REITORA DE EXTENSÃO

Antonio Liccardo

E ASSUNTOS CULTURAIS

Augusta Pelinski Raiher

Clóris Regina Blanski Grden

Clóris Regina Blanski Grden

Dircéia Moreira

Giovani Marino Favero

Ivana de Freitas Barbola

Névio de Campos

André Belmont Pereira
Eduardo Augusto Agnellos Barbosa

MANEJO DA IRRIGAÇÃO VIA CLIMA NA CULTURA DA MAÇÃ

Boletim Técnico Científico

Editora
UEPG

Copyright © by André Belmont Pereira, Eduardo Augusto Agnellos Barbosa &
Editora UEPG

Equipe Editorial

Coordenação editorial

Beatriz Gomes Nadal

Revisão de português

Fábia Mariela De Biasi

Imagem da capa

Daurimar Mendes

Capa, Projeto Gráfico e Diagramação

Marco Aurélio Martins Wrobel

P436 Pereira, André Belmont
Manejo da irrigação via clima na cultura da maçã [livro eletrônico]/
André Belmont Pereira; Eduardo Augusto Agnellos Barbosa. Ponta
Grossa: Editora UEPG, 2019. (Boletim Técnico Científico).
66 p.; il. E-book - PDF

ISBN: 978-85-7798-258-5

DOI: 10.5212/7798-258-5

1. Maçã - cultura. 2. Maçã - cultivo. 3. Maçã - irrigação. I. Barbosa,
Eduardo Augusto Agnellos. II. T.

CDD:634.11

Ficha catalográfica elaborada por Maria Luzia F. Bertholino dos Santos – CRB 9/986

Depósito legal na Biblioteca Nacional

Editora filiada à ABEU

Associação Brasileira das Editoras Universitárias

Editora UEPG

Praça Santos Andrade, n. 1

84010-919 – Ponta Grossa – Paraná

Fone/fax: (42) 3220-3306

e-mail: editora@uepg.br

2019

Agradecemos à Fundação Araucária, pela concessão da bolsa de produtividade em pesquisa para o autor André Belmont Pereira, e a João Alberto Antunes, a Daurimar Mendes e à empresa Nelson Irrigation, pelo fornecimento das ilustrações

Sumário

1. Introdução.....	8
2. Conceitos básicos no planejamento da irrigação ..	11
2.1 Evapotranspiração	11
2.2 Demanda evaporativa da atmosfera	11
2.3 Demanda climática ideal de água das culturas.....	11
2.4 Coeficiente de cultura	12
2.5 Índice de área foliar	12
2.6 Capacidade de água disponível.....	12
2.7 Fator de disponibilidade de água no solo	13
2.8 Água facilmente disponível	13
2.9 Potencial matricial de água no solo	13
2.10 Turno de rega	14
2.11 Lâmina líquida e bruta de irrigação	14
2.12 Fenologia da macieira	15
3. Sistemas de irrigação para cultura da macieira	16
3.1 Irrigação por superfície	16
3.2 Irrigação por aspersão	17
3.3 Irrigação localizada.....	21
3.31 Irrigação por gotejamento.....	24
3.32 Irrigação por microaspersão	26
4. Determinação da evapotranspiração de referência	29

5. Necessidade hídrica da macieira	37
5.1 Evapotranspiração da cultura	38
5.2 Coeficiente de cultura da macieira	41
5.3 Transpiração da macieira.....	43
6. Manejo da irrigação	47
6.1 Lâmina líquida e bruta de irrigação	47
6.2 Balanço hídrico para controle da irrigação.....	48
6.2.1 <i>Turno de rega</i>	50
7. Irrigação para controle de geadas em macieiras..	51
8. Produção e qualidade dos frutos da macieira	54
9. Considerações finais	58
Referências.....	59
Sobre os autores	66

1. Introdução

Desde os primórdios, o homem busca manejar a água para o cultivo de plantas. As primeiras civilizações se estabeleceram e prosperaram em razão do desenvolvimento de técnicas de irrigação. Essas técnicas de irrigação eram rudimentares e surgiram há 6000 anos A.C. no Egito, às margens do rio Nilo, e na Mesopotâmia, entre os rios Eufrates e Tigres, com a construção de pequenos diques para represar a água e de canais para distribuir a água até as áreas de cultivo.

A modernização da irrigação ocorreu no século XX, especialmente após a Segunda Guerra mundial, em virtude do surgimento de tubulações específicas para diversos casos e da popularização dos motores a diesel e elétrico. O desenvolvimento da irrigação acompanhou paralelamente os avanços tecnológicos ocorridos nas últimas décadas.

Por definição, *irrigação* é o conjunto de técnicas destinadas a transportar a água, no espaço e no tempo, com vistas a repor, no momento oportuno, a quantidade de água necessária para o ótimo crescimento das plantas, de modo a evitar a diminuição dos rendimentos provocada pela falta de água durante as fases de desenvolvimento críticas à deficiência hídrica. A adoção da irrigação ainda deve ser considerada como técnica que favorece a menor oscilação na produção, reduzindo a dependência das condições climáticas locais. Destaca-se que o pior uso da água é seu uso ineficiente, mesmo que indiretamente. Culturas de sequeiro, também consumidoras de água,

que têm a produção comprometida por ocorrência de veranicos ou secas mais intensas, representam um desperdício de água tanto ou maior do que a perda advinda da adoção de irrigações procedidas sem critério científico.

Os pomares de macieira no Brasil, em sua maioria, não contam com sistemas de irrigação, visto que as principais regiões produtoras de maçã – estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul – apresentam adequada distribuição pluviométrica (CARGININO, 2013). Entretanto, a ocorrência de veranicos afeta a maturação, a qualidade e o tempo de armazenamento da maçã (EBEL; PROEBISTING; PATTERSON, 1993), além de comprometer o rendimento dos frutos (MPELASOKA; BEHBOUDIAN; GREEN, 2001). A adoção da irrigação na Região Sul do Brasil pode promover controle de geadas verdadeiras em pomares de macieira.

Períodos de déficit hídrico causam efeitos negativos significativos na macieira, principalmente no que se refere ao crescimento de frutos, à diferenciação das gemas da safra seguinte e à absorção de nutrientes (NACHTIGALL; FREIRE, 1998). Diante desse problema, cresce o interesse por sistemas de irrigação capazes de suprir a demanda hídrica das plantas durante esses períodos. Sistemas de irrigação por gotejamento adaptam-se bem às condições de produção de macieiras e das demais pomáceas, uma vez que direcionam a aplicação de água diretamente para o sistema radicular, minimizando perdas por evaporação, além de não alterarem o microclima do pomar acima do solo, evitando, com isso, condições ambientais favoráveis para o desenvolvimento de algumas doenças.

A cultura da macieira apresenta perspectiva de expansão em outras regiões do Brasil, tendo em vista a seleção de variedades com menor exigência ao número de horas de frio, tais como Eva, Anna e Condessa. Atualmente, a nova fronteira da macieira no território nacional abrange os estados de Minas Gerais e de São Paulo com área

plantada no ano de 2015 de, aproximadamente, 218 e 212 hectares, respectivamente (IBGE, 2016), bem como no semiárido nordestino com destaque para o estado da Bahia, o qual durante a safra de 2015, apresentou áreas plantadas de 43 hectares. Essas novas regiões de plantio exibem maior irregularidade e/ou menores índices pluviométricos em relação às tradicionais regiões produtoras da Região Sul (INMET, 2009), tendo maior potencial para melhores respostas agrícolas mediante adoção da irrigação em pomares de macieira.

Esta obra, longe de pretender esgotar o assunto, busca abordar conceitos básicos utilizados na agricultura irrigada via elementos de clima, bem como explicar de forma sucinta as relações hídricas na cultura da macieira, enfatizando a contribuição dos fatores ambientais e fisiológicos sobre o manejo racional da água. Também serão demonstrados os principais sistemas de irrigação, as práticas de manejo e a adoção da irrigação como uma medida de combate direto a geadas verdadeiras na cultura em estudo.

2. Conceitos básicos no planejamento da irrigação

2.1 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A *evapotranspiração* (ou uso consumptivo) de culturas agrícolas é definida como a perda combinada de água para a atmosfera terrestre, sob a forma de vapor d'água, por meio de processos de evaporação das superfícies vegetadas em associação com a transpiração das plantas. É extremamente condicionada pelas condições atmosféricas locais, bem como pelos fatores do solo e da planta (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007; PEREIRA; PIRES, 2011).

2.2 DEMANDA EVAPORATIVA DA ATMOSFERA

A *demanda evaporativa da atmosfera* (ou evapotranspiração potencial ou, ainda, de referência) (ETP ou ETo) é definida como o processo de transferência de água para a atmosfera sob a forma de vapor, por unidade de área e tempo, a partir uma superfície totalmente coberta por vegetação verde, de porte baixo, com altura uniforme, em fase de desenvolvimento ativo e sem restrição de água no solo (PENMAN, 1956). É condicionada única e exclusivamente pelo clima e/ou pelo tempo meteorológico.

2.3 DEMANDA CLIMÁTICA IDEAL DE ÁGUA DAS CULTURAS

A *demanda climática ideal de água das culturas* (ou evapotranspiração máxima das culturas) (ETc ou ETm) refere-se à condição definida por Penman (1956), com a ressalva de que a cobertura vegetal é uma cultura agrônômica, em qualquer fase de seu ciclo de desenvolvimento, qualquer porte, sob condições de umidade de solo e de manejo agrônômico não restritivas ao ótimo crescimento e desenvolvimento dessa cultura. É sinônimo de “lâmina ideal de água”

a ser aplicada na irrigação com vistas a maximizar o rendimento biológico de espécies vegetais cultivadas e minimizar os custos de produção na lavoura.

2.4 COEFICIENTE DE CULTURA

O *coeficiente de cultura* (ou consumo relativo de água) (K_c) é a relação entre a evapotranspiração máxima da cultura (E_{Tm}) e a evapotranspiração potencial ou de referência (E_{To}). O K_c varia conforme o estágio fenológico da cultura, bem como de acordo com as espécies e as variedades/cultivares, sendo função do índice de área foliar, da altura da planta, do regime de vento e da umidade relativa do ar (DOORENBOS; KASSAM, 1979).

2.5 ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR

O índice de área foliar (IAF) é a relação entre a área de folhas fotossinteticamente ativas (m^2 de folhas) e a área de solo interceptada pelas folhas da planta (m^2 de terreno), sendo, portanto, uma variável adimensional para fins de cálculos de consumo hídrico de culturas. O IAF de culturas anuais e de espécies perenes ou arbóreas (caso particular da macieira) varia diferentemente em função da idade fisiológica da espécie vegetal em estudo (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007; PEREIRA; PIRES, 2011) e a área de folhas a ser projetada sobre a área de $1 m^2$ de terreno, a qual é determinada por intermédio de um medidor de área foliar ou por modelos de ajuste.

2.6 CAPACIDADE DE ÁGUA DISPONÍVEL

A *capacidade de água disponível* (CAD) do solo é definida como a porcentagem de água retida pelo solo entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP). É extremamente variável em função dos atributos físicos do solo e da profundidade efetiva do sistema radicular das plantas. Os limites superior e inferior de água

retida pelo solo são, via de regra, obtidos em Laboratório de Análise Física de Solos de Instituições de pesquisa ou de ensino superior.

2.7 FATOR DE DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO

O *fator de disponibilidade de água no solo* (ou de depleção) (fração f da CAD) refere-se ao percentual de redução admissível do conteúdo de água no solo que possibilita livre evapotranspiração das plantas sob as condições climáticas reinantes, sem que haja aumento expressivo da resistência estomática das plantas e, portanto, sem queda de rendimento biológico significativo em dada localidade climática.

2.8 ÁGUA FACILMENTE DISPONÍVEL

Entende-se por água facilmente disponível (ou prontamente disponível) (AFD) o intervalo da capacidade de água disponível no solo que permite a obtenção de ET_m , a qual fará com que a potencialidade produtiva de dada espécie cultivada possa ser expressa em determinado local com proteção ambiental. O manejo da água de irrigação deve ser adotado de modo a fazer com que o solo esteja dentro desse intervalo durante as estações de crescimento das culturas no campo. Isso assegura a sustentabilidade da agricultura, levando o produtor a produzir mais alimentos, de melhor qualidade e utilizando menos insumos agrícolas em sua propriedade rural.

2.9 POTENCIAL MATRICIAL DE ÁGUA NO SOLO

O *potencial matricial de água no solo* (ψ_m) expressa o estado de energia da água que interage com a matriz do solo, por isso também é denominado de *potencial mátrico do solo*. Quanto mais seco estiver o solo, mais negativo será o valor de potencial hídrico do solo. Em condições de campo, é normalmente medido por tensiômetros ou por sensores matriciais granulares (SHOCK et al., 2016; PEREIRA et

al., 2006), sendo uma variável do meio agrícola de suma importância para o manejo da irrigação.

2.10 TURNO DE REGA

O *turno de rega* (ou frequência de irrigação) (TR ou FI) é a relação entre a água facilmente disponível (mm) e a evapotranspiração máxima da cultura (mm dia^{-1}). Refere-se, portanto, ao número de dias transcorridos entre um episódio de irrigação e o subsequente, de modo a assegurar que a cultura se desenvolva sob condições de suprimento adequado de água no solo ao longo de todo o seu ciclo de desenvolvimento em dada localidade ou região.

ETm e TR são variáveis ambientais essenciais a serem consideradas no planejamento da irrigação de culturas agrícolas. ETm possibilita a definição da lâmina ideal de água de irrigação a ser aplicada na lavoura, e TR expressa o momento da irrigação, de modo a maximizar o rendimento vegetal e minimizar os custos de produção do agricultor.

No manejo da irrigação, deve-se definir se o turno de rega será fixo ou variável. Sob TR fixo, o intervalo de tempo entre as irrigações é constante e definido com base nas informações de AFD e de ETm. Esse tipo de manejo permite um melhor planejamento das irrigações e em sistemas localizados recomenda-se a frequência máxima de 5 dias para a macieira (UCAR et al., 2016). Sob TR variável, os intervalos entre os episódios de irrigação não são definidos e o momento de irrigar é estabelecido com base na AFD ou no potencial crítico de água no solo para a cultura da macieira, que se situa próximo a -50 kPa para solos de textura arenosa e média e -70 kPa para solo argiloso.

2.11 LÂMINA LÍQUIDA E BRUTA DE IRRIGAÇÃO

A lâmina líquida de irrigação (LLI) representa o volume de água por unidade de área fornecido ao solo para elevar sua umidade até

a capacidade de campo, de modo a satisfazer a necessidade hídrica da cultura. A lâmina bruta de irrigação (LBI) é a relação entre a LLI e a eficiência do sistema de irrigação (E_i), sendo a lâmina de água derivada da fonte de captação.

2.12 FENOLOGIA DA MACIEIRA

O conhecimento da fenologia e dos subperíodos de desenvolvimento é primordial para o adequado planejamento e manejo da irrigação na cultura da macieira. A demanda hídrica da cultura varia ao longo dos diferentes estádios fenológicos ou subperíodos, sendo a fenologia uma ferramenta de interpretação da relação da macieira com as condições meteorológicas reinantes (Cardoso et al., 2013).

A macieira apresenta um período de repouso vegetativo durante o inverno, sendo que para iniciar um novo ciclo de desenvolvimento a frutífera em estudo irá requerer acúmulo de um certo número de horas de frio (NHF). A quantidade de frio para quebrar a dormência varia de acordo com a cultivar. Por exemplo, a Fuji necessita de 700 a 800 NHF para iniciar um novo ciclo, ao passo que a cultivar Eva exige de 100 a 450 NHF (MORAIS; CARBONIERI, 2015). Se o NHF não for atendido em dado local, recomenda-se proceder a quebra artificial da dormência mediante a aplicação de produtos químicos nas gemas.

A sequência de estágio fenológico da macieira tem como referência o desenvolvimento das gemas, sendo identificadas por letras e números arábicos (Bender, 1986): A – gema dormente; B – gema inchada; C – pontas verdes; C3 – meia polegada verde; D – meia polegada verde sem folhas; D2 – meia polegada verde com folhas; E – botão verde; E2 – botão rosado; F – início da floração; F2 – plena floração; G – final da floração; H – queda de pétalas; I – frutificação efetiva; J – frutas verdes.

3. Sistemas de irrigação para cultura da macieira

Os métodos de irrigação podem ser divididos em quatro grupos, sendo: (1) irrigação por superfície, (2) irrigação por aspersão, (3) irrigação localizada ou microirrigação e (4) subirrigação. Abordaremos aqui os três primeiros métodos com ênfase aos métodos por aspersão e aos localizados, em virtude de serem os mais utilizados na cultura da macieira (CONCEIÇÃO, 2006).

Antes de prosseguir, é importante ressaltar a clássica afirmação de que “não existe um método melhor em relação a outro, e sim aquele que mais se adapta a cada situação em particular”. Essas situações referem-se aos aspectos socioeconômicos, topográficos, edafoclimáticos, sistema de cultivo, disponibilidade e qualidade de água e disponibilidade de energia e de mão de obra, entre outros fatores. Assim, é fundamental que o projeto de irrigação seja realizado por profissionais competentes e com experiência na área.

3.1 IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE

A irrigação por superfície é caracterizada pela aplicação da água na superfície do solo, e seu escoamento ocorre pela ação da gravidade. No cultivo da macieira, os sistemas por superfície mais indicados são os sulcos de infiltração e a bacia ou coroa de infiltração. Como vantagens é possível citar o baixo custo do sistema, a economia no consumo de energia elétrica, o uso da água de baixa qualidade, a uniformidade de aplicação não afetada pelos ventos e o não prolongamento da duração do período de molhamento foliar. Como desvantagens constata-se a alta dependência das condições topográficas, o alto consumo de água, as maiores perdas por percolação e por escoamento superficial, o potencial erosivo e o favorecimento da salinização na região periférica à zona de molhamento.

Na irrigação por sulco (Figura 1), a água é liberada na parte superior a partir de um canal mestre ou por canalização (tubos perfurados) e segue pelo canal no sentido do declive entre as linhas de plantio, garantindo a infiltração da água no solo enquanto esta se move pelo canal. A quantidade de água aplicada deverá repor a água do solo esgotada na extremidade inferior do canal. No sistema de irrigação por *coroa de infiltração*, constrói-se uma pequena bacia ao redor do caule da macieira, a qual é conectada por um pequeno canal ou por uma tubulação lateral, que vai viabilizar a alimentação do sistema. O fluxo de água é suspenso quando a última bacia receber a quantidade de água determinada para o período.

Figura 1 – Irrigação por sulco em pomar de macieiras.



Fonte: FAO, 2003.

3.2 IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

Nesse método, a reposição hídrica ocorre sob forma de chuva artificial (Figura 2). A água é pressurizada por um conjunto motobomba e distribuída por tubulações que a levam até os aspersores, onde é aspergida sobre a área de cultivo. Como o sistema é pressurizado,

recomenda-se que seu uso seja adotado preferencialmente durante o período noturno para maior economia de energia.

Figura 2 – Irrigação por aspersão com aspersores fixos permanentes sobre a copa em cultivo coberto (imagem superior) e com aspersores instalados abaixo da copa em sistema com lateral móvel ou fixo temporário (imagem inferior) na cultura da macieira.



Fonte: Sadownictwo (2019).

A irrigação por aspersão apresenta inúmeras vantagens, como a fácil adaptação às diversas condições topográficas e de solo, a facilidade de manuseio, a alta eficiência na aplicação da água, a ausência de necessidade de sistematização e retirada de pedras do terreno, a possibilidade de aplicação de fertilizantes e defensivos, a facilidade no controle da água aplicada e menores custos de instalação e de manutenção em relação à irrigação localizada. Em dias com elevada temperatura, a irrigação por aspersão promove o resfriamento do dossel vegetativo, favorecendo o desenvolvimento das plantas e possibilitando o controle de geadas em pomares de macieira.

Como limitações, constata-se o alto custo de investimentos inicial e operacional em relação à irrigação por superfície, o maior consumo de água em relação aos métodos localizados, a baixa eficiência em condições de velocidade do vento superior a 4 m s^{-1} , o favorecimento ao ataque por patógenos, uma vez que aumenta o período de molhamento foliar e compromete a eficiência de aplicação de defensivos agrícolas sobre a parte aérea das plantas.

Os sistemas de irrigação por aspersão podem ser divididos em dois grupos: os móveis e os fixos. Integram os móveis aqueles sistemas com movimentação manual (aspersão portátil e semiportátil) e com movimentação mecânica (aspersão sobre rodas, sistema autopropelido e pivô-central).

A irrigação por aspersão convencional portátil, semiportátil e fixa (permanente ou temporária) é constituída basicamente por tubulação principal, linhas laterais e aspersores. Na portátil, todas as linhas e os componentes são mudados da área a cada irrigação. Na semiportátil, apenas as linhas laterais são movimentadas, e as linhas principal e secundária são fixas na área. Nesse sistema, verifica-se uma redução no custo inicial e a possibilidade de uso em outras lavouras. Entretanto, há aumento no custo operacional e dificuldade de uso para controle de geadas, pois não há equipamento suficiente

para toda a área. Já nos sistemas fixos, as linhas são enterradas e permanentes na área, o que gera maior custo inicial em razão da implementação do sistema, porém os custos operacionais são reduzidos em comparação aos sistemas portátil e semiportátil.

No Brasil, um sistema fixo que ganhou notoriedade nos últimos anos, especialmente entre os pequenos produtores, foi a aspersão em malhas. Nesse sistema, as tubulações são enterradas e interligadas, havendo apenas a mudança do aspersor. Estudos demonstram que o sistema se adaptou satisfatoriamente a espécies arbóreas como o café (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2013).

O espaçamento entre aspersores deve promover a sobreposição da água aspergida para a obtenção de boa uniformidade de aplicação (Coeficiente de Uniformidade de Christiansen – CUC > 80%). O espaçamento é dependente do raio de alcance da água e da velocidade do vento. Em locais com baixa velocidade do vento (0 a 2 m s^{-1}), o espaçamento pode representar até 70% do diâmetro de cobertura de um aspersor. Já em locais com ventos superiores a 4 m s^{-1} , o espaçamento deve ser de até 30% do diâmetro de cobertura da água aspergida (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2013).

Na ocasião da escolha do aspersor, deve-se considerar a taxa de aplicação da água e a velocidade de infiltração básica (VIB) no solo, sendo necessário que a taxa de aplicação seja inferior à VIB, a fim de evitar a formação de poças d'água sobre o terreno, o escoamento superficial (*run-off*) e o processo erosivo do solo. Outro aspecto importante é a dimensão da gota produzida por um aspersor, determinada pelo grau de pulverização (GP). O GP é obtido por meio da relação entre a pressão de serviço (m.c.a.) e o diâmetro do bocal do aspersor (mm). Na cultura da macieira, o GP é representado por uma chuva de média a fina, com valores entre $4,1$ a 5 m.c.a. mm^{-1} .

3.3 IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

A irrigação localizada caracteriza-se pela aplicação da água em alta frequência e baixo volume, mantendo-se a umidade do solo próxima à capacidade de campo somente dentro do volume de solo explorado pelo sistema radicular da cultura. Por distribuir a água somente na zona radicular, não molhando toda a superfície do terreno, o método permite economia no consumo de água, sendo adequado para as regiões com baixa disponibilidade hídrica. A Figura 3 (superior) ilustra a aplicação localizada na cultura da macieira, evidenciando molhamento de apenas uma dada fração de solo.

As principais vantagens desse método são: a redução no volume de água requerido para irrigação; a alta uniformidade e eficiência de aplicação; o funcionamento em baixa pressão de serviço com consequente redução da potência do conjunto motobomba e do consumo de energia; a pouca influência sobre os tratos culturais; e a redução do uso de defensivos, pois não há molhamento da parte aérea, o que otimiza a aplicação de fertilizantes via fertirrigação; e a adaptabilidade aos diferentes tipos de solo e de relevo.

As principais limitações são: o alto investimento inicial, pois os sistemas são fixos e exigem grande quantidade de tubulações e acessórios; o risco de entupimento dos orifícios, demandando rigoroso controle da qualidade da água e, consequentemente, do sistema de filtragem; e a limitação do desenvolvimento do sistema radicular, pois este tende a se concentrar na região do bulbo molhado, favorecendo o tombamento das árvores e, caso ocorra algum problema com o sistema de irrigação em períodos de deficiência hídrica no solo, o efeito do estresse hídrico será mais acentuado devido ao menor volume de solo explorado pelo sistema radicular.

Na irrigação localizada, a água é depositada na superfície ou em subsuperfície, umedecendo especificamente a região de maior concentração do sistema radicular, não havendo, para a cultura da

macieira, o molhamento de toda a área de cultivo. Dessa forma, torna-se imprescindível a determinação da porcentagem de área molhada (PAM) e do coeficiente de irrigação localizado (KI) para o adequado dimensionamento e manejo da irrigação (KELLER; BLIESNER, 1990).

Figura 3 – Irrigação por gotejamento na cultura da macieira.



Fonte: João Alberto Antunes.

A PAM representa a área efetivamente molhada pelo emissor e a área total ocupada pela planta, e dois casos devem ser considerados: a irrigação em faixa contínua e a irrigação por planta (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2013). Recomenda-se que a região de umedecimento do solo no sentido horizontal alcance pelo menos 60% do diâmetro da copa das árvores no sentido das entre-linhas de plantio.

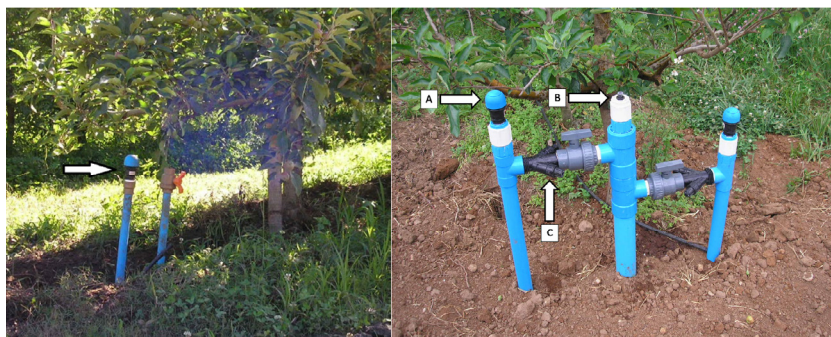
Na irrigação por faixa contínua, toda a linha de plantio é irrigada, sendo atualmente o sistema mais adotado no cultivo da maçã, sob o qual o valor de PAM é obtido dividindo-se a largura da faixa molhada pelo espaçamento entre fileiras de plantio. Na irrigação por gotejamento, a largura da faixa molhada representa o diâmetro do bulbo, o qual deve ser medido na profundidade de 15 a 30 cm (KELLER; BLIESNER, 1990).

A filtragem da água na irrigação localizada é etapa fundamental para evitar a obstrução dos emissores e para elevar a eficiência de distribuição da água no terreno, e conseqüentemente, promove aumento na eficiência do sistema de irrigação. O sistema mais indicado para a irrigação localizada é composto por dois tipos de filtros, sendo dois filtros de areia e outro de tela ou disco. Em alguns casos, especialmente quando a água apresentar quantidades elevadas de areia, recomenda-se o uso de bacias de sedimentação e ou hidrociclones.

Outro aspecto importante para o adequado desempenho hidráulico do sistema de irrigação é a retirada do ar presente no interior das tubulações ou dissolvido na água durante o processo de pressurização da rede hidráulica, bem como a admissão de ar na tubulação no desligamento do sistema de bombeamento. As válvulas utilizadas para tal finalidade são denominadas de *ventosas*, as quais têm a função de retirar o ar presente nas tubulações, e algumas podem ser de dupla ação, admitindo a presença de ar na tubulação e evitando a criação de vácuo interno (TESTEZLAF; MATSURA,

2015). Essas válvulas podem apenas conceber a existência de ar na tubulação, sendo denominadas de *válvulas ventosas antivácuo*. As válvulas ventosas são instaladas após o sistema de bombeamento, no cabeçal de controle de campo (Figura 4) e no final das linhas laterais, especialmente na linha localizada no ponto mais alto do terreno.

Figura 4 – Válvula ventosa no final de linha e cabeçal de controle de campo com válvula ventosa (A), válvula antivácuo (B) e válvula reguladora de pressão.



Fonte: João Alberto Antunes, publicado em TESTEZLAF; MATSURA, 2015.

De modo geral, os sistemas de irrigação localizados apresentam desempenho superior na cultura da macieira em relação à aspersão (DRAKE et al., 1981), especialmente em árvores jovens (FALLAHI; FALLAHI; SHAFFI, 2013). No entanto, a irrigação por aspersão pode melhorar o estabelecimento e a manutenção das mudas no pomar.

3.31 Irrigação por Gotejamento

Na irrigação por gotejamento, a água é aplicada na forma de gota ou “ponto”, formando um bulbo molhado no volume de solo abaixo do ponto de emissão. Uma variação desse sistema é a instalação do tubogotejador em subsuperfície, popularmente conhecido como *gotejamento enterrado*, o que reduz ou até elimina as perdas de água por evaporação direta do solo.

Os emissores utilizados nos sistemas por gotejamento são dispositivos projetados para dissipar parte da pressão e descarregar a água na forma de gotas. Estes podem ser instalados sobre o tubo gotejador, no interior do tubo, em forma de labirinto modelado na fita gotejadora ou do tipo tubo exudante.

Os gotejadores operam em baixa vazão (1 a 20 L h^{-1}) e trabalham normalmente sob pressão de serviço de 10 m.c.a. Contudo, há gotejadores que trabalham com pressões menores (5 m.c.a.) e outros com pressões maiores (40 m.c.a.). Atualmente, têm-se os gotejadores autocompensantes e antissifão. Os autocompensantes permitem a variação da pressão (dentro de certos limites) sem afetar a vazão de gotejo, favorecendo o uso do gotejo em terrenos acidentados (Figura 5). Já o mecanismo antissifão previne o refluxo de partículas do solo para o interior do emissor, reduzindo o risco de entupimento.

Sistemas de irrigação por gotejamento adaptam-se bem às condições de produção de macieiras e demais pomáceas, uma vez que direcionam a aplicação de água diretamente no sistema radicular, minimizando perdas por evaporação, além de não alterarem o microclima do pomar acima do solo, evitando, com isso, condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento de algumas doenças fúngicas e bacterianas.

Figura 5 – Irrigação por gotejamento superficial em área com gradiente topográfico.



Fonte: João Alberto Antunes – IRRIGABRAS Sistemas de Irrigação.

3.32 Irrigação por Microaspersão

Os microaspersores aplicam água sob a forma de pequenos jatos, pulverizados em forma de névoa ou neblina. Esse sistema geralmente apresenta taxa de aplicação superior ao gotejamento, e o umedecimento da superfície do solo tem padrão circular ou em forma de leque. Os microaspersores são instalados próximos ao tronco da macieira e apoiados normalmente por hastes, conhecidas como *subcopas* (Figura 6), ou são instalados sobre as copas, sistema utilizado, em geral, com o objetivo de resfriar o ar e atuar no controle da geada (Figura 7).

Figura 6 – Sistema de irrigação por microaspersão tipo subcoba na cultura da macieira.



Fonte: Nelson Irrigation.

Figura 7 – Sistema de irrigação por microaspersão sobre copa



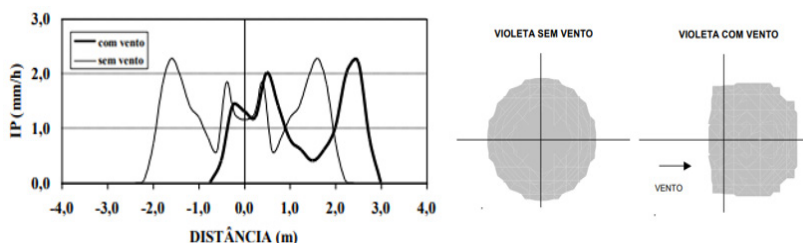
Fonte: Dr. Daurimar Mendes.

Os microaspersores podem ser do tipo rotativo (parte móvel) ou spray (estacionários). São usados principalmente em pomares e

são adequados para o uso em macieiras. A aplicação da água ocorre na forma de borrfio e a eficiência de aplicação é reduzida em razão do efeito dos ventos.

Em áreas com ventos moderados a forte ($> 3 \text{ m s}^{-1}$), a eficiência do sistema é afetada e, em muitos casos, há a necessidade de superposição da área molhada, pois a distribuição da água é reduzida com o aumento da distância entre os microaspersores. Ao avaliar o efeito do vento na distribuição de água em diferentes microaspersores, Conceição e Coelho (2004) constataram que ventos com velocidade próxima a $3,2 \text{ m s}^{-1}$ promoveram perdas de água por deriva e evaporação entre 17% e 30% do volume total em relação ao aplicado sob condição de atmosfera sem vento. Na Figura 8, apresenta-se um dos resultados obtidos pelos autores supracitados.

Figura 8 – Perfil de intensidade de precipitação e distribuição espacial das áreas molhadas pelo microaspersor DAN 2001 com e sem vento operando com rotor preto e bocal violeta.



Fonte: CONCEIÇÃO; COELHO, 2004.

Segundo Testezlaf (2011), o espaçamento entre os emissores pode chegar a 50% do raio de alcance do jato d'água, porém é importante avaliar a uniformidade de distribuição da água sobre a área irrigada.

4. Determinação da evapotranspiração de referência

No manejo da irrigação, a evapotranspiração de referência (ET_o) normalmente é determinada com base em elementos meteorológicos locais monitorados por estações meteorológicas ou por meio de tanques de evaporação, como o Classe A. Existem outros critérios que possibilitam a avaliação da demanda evaporativa da atmosfera, tais como lisimetria, variação da umidade do solo e o método de balanço de calor. No entanto, ficaremos restritos aos métodos consagrados como práticos para obtenção de ET_o com precisão para o manejo da irrigação em campos de produção agrícola.

O método de Penman-Monteith (Equação 1) é considerado padrão para estimar a ET_o segundo a FAO (ALLEN et al., 1998). Entretanto, constata-se que o método utiliza elementos meteorológicos que nem sempre estão disponíveis ao agricultor, dificultando sua obtenção.

$$ET_o = \frac{0,48 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,3 u_2)} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

ET_o = evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹)

R_n = radiação líquida sobre superfície gramada (MJ m⁻² dia⁻¹)

G = densidade de fluxo de calor sensível no solo (MJ m⁻² dia⁻¹)

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

u₂ = velocidade do vento a 2 m de altura (m s⁻¹)

e_s = pressão de saturação de vapor (kPa)

e_a = pressão atual de vapor (kPa)

(e_s - e_a) = déficit de pressão de saturação de vapor (kPa)

Δ = tangente à curva de pressão de saturação de vapor à temperatura média do ar (kPa °C⁻¹)

γ = coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹)

Nos casos em que as informações meteorológicas locais para estimativa da ETo são restritas, impossibilitando a aplicação do modelo de Penman-Monteith, outros métodos com bom desempenho na região sul do Brasil (MEDEIROS, 1998; CONCEIÇÃO; MANDELLI, 2005; SYPPERRECK et al., 2008) podem ser empregados, como o de Hargreaves & Samani, o de Blaney-Criddle FAO 24, o de Priestley & Taylor e o do Tanque Classe A.

Inúmeros métodos existentes para o cálculo de ETo quase sempre o fazem para períodos de 24 horas, incluindo valores de elementos climáticos do período noturno (médias diárias), os quais têm efeito nulo na transpiração, que é a principal demanda nos casos de irrigação localizada. Villa Nova et al. (2006) elaboraram um estudo que teve por objetivo simplificar o método de Penman atribuído relativamente à quantificação das taxas de evapotranspiração diurna, as quais prescindem de dados de velocidade do vento e de umidade relativa do ar, sem perda de precisão, ampliando bastante sua possibilidade de aplicação. A comparação entre os valores de ETo diários-diurnos medidos em lisímetros de pesagem de alta precisão e os valores estimados, tanto pela metodologia proposta pelos referidos autores quanto pelo critério de cálculo proposto por Penman-Monteith, indicou elevada concordância entre os valores observados e os calculados. O método de Penman-simplificado foi, portanto, uma alternativa viável para estimar ETo sob as condições meteorológicas locais de dois experimentos de campo conduzidos em Piracicaba, Estado de São Paulo, para fins de planejamento da irrigação.

Villa Nova e Pereira (2006) e Villa Nova, Pereira e Shock (2007) propuseram um método corrigido para estimar ETo embasado no balanço de energia local, a partir de dados meteorológicos monitorados em postos de observação de superfície durante o período de luz. Para validação do método de Priestley-Taylor ajustado às condições locais, foram utilizados dados observados em estação

meteorológica automática instalada em Piracicaba (SP), bem como medidas lisimétricas coletadas na Fazenda Areião, da área experimental da ESALQ/USP. Estudos de regressão revelaram que o método proposto apresentou excelentes resultados quando comparado com o método de Penman-Monteith e com as medidas realizadas em lisímetros de pesagem com célula de carga, tendo em vista os elevados valores de coeficiente de determinação obtidos, podendo ser recomendado, portanto, em estudos de avaliação de consumo hídrico de culturas em diversas localidades climáticas.

O método de Hargreaves e Samani (1985) estabelece a ETo por meio da radiação solar incidente no topo da atmosfera e das temperaturas máxima, mínima e média, conforme Equação 2.

$$ET_o = 0,0023 \times Q_o \times (T_{\max} - T_{\min})^{0,5} \times (T_{\text{med}} + 17,8)$$

(Equação 2)

Em que:

Q_o = radiação solar extraterrestre diária (mm dia^{-1}), conforme os valores disponíveis na Tabela 1

$T_{\max}$ = temperatura máxima do ar ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{\min}$ = temperatura mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$)

T_{med} = temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$)

Tabela 1 - Radiação solar extraterrestre diária (Q_0) em mm dia^{-1} no 15º dia do mês correspondente para diferentes latitudes (Lat.) no hemisfério Sul.

Lat. Sul	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0°	14,5	15,0	15,2	14,7	13,9	13,4	13,5	14,2	14,9	14,9	14,6	14,3
2°	14,8	15,2	15,2	14,5	13,6	13,0	13,2	14,0	14,8	15,0	14,8	14,6
4°	15,0	15,3	15,1	14,3	13,3	12,7	12,8	13,7	14,7	15,1	15,0	14,9
6°	15,3	15,4	15,1	14,1	13,0	12,6	12,5	13,5	14,6	15,1	15,2	15,1
8°	15,6	15,6	15,0	14,0	12,7	12,0	12,2	13,2	14,5	15,2	15,4	15,4
10°	15,9	15,7	15,0	13,8	12,4	11,6	11,9	13,0	14,4	15,3	15,7	15,7
12°	16,1	15,8	14,9	13,5	12,0	11,2	11,5	12,7	14,2	15,3	15,8	16,0
14°	16,3	15,8	14,9	13,2	11,6	10,8	11,1	12,4	14,0	15,3	15,9	16,2
16°	16,5	15,9	14,8	13,0	11,3	10,4	10,8	12,1	13,8	15,3	16,1	16,4
18°	16,7	15,9	14,7	12,7	10,9	10,0	10,4	11,8	13,7	15,3	16,2	16,7
20°	16,7	16,0	14,5	12,4	10,6	9,6	10,0	11,5	13,5	15,3	16,2	16,8
22°	16,9	16,0	14,3	12,0	10,2	9,1	9,6	11,1	13,1	15,2	16,4	17,0
24°	16,9	15,9	14,1	11,7	9,8	8,6	9,1	10,7	13,1	15,1	16,5	17,1
26°	17,0	15,9	13,9	11,4	9,4	8,1	8,7	10,4	12,8	15,0	16,5	17,3
28°	17,1	15,8	13,7	11,1	9,0	7,8	8,3	10,0	12,6	14,9	16,6	17,5
30°	17,2	15,7	13,5	10,8	8,5	7,4	7,8	9,6	12,2	14,7	16,7	17,6

Fonte: DOORENBOS; KASSAM, 1979

O método de Blaney-Criddle (1950) foi desenvolvido para regiões áridas e semiáridas, porém após a introdução do fator de correção que considera a umidade relativa mínima do ar, a razão de insolação e a velocidade do vento a 2 m de altura, tal método passou a ser recomendado para diversos climas (DOORENBOS; PRUITT, 1984). Posteriormente à correção preconizada pela FAO, o referido método ficou conhecido como método de Blaney-Criddle FAO-24. A estimativa da E_{To} é expressa por meio da Equação 3.

$$ET_o = (\alpha + \beta) \times p \times (0,46 \times T_{med} + 8,13) \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

α e β = coeficientes de ajustes estabelecidos por meio das equações 4 e 5

p = porcentagem da média diária mensal do total de fotoperíodo anual, discriminada na Tabela 2

T_{med} = temperatura média diária do ar (°C)

$$\alpha = 0,0043UR_{min} - \frac{n}{N} - 1,41 \quad (\text{Equação 4})$$

$$\begin{aligned} \beta = & 0,81917 - 0,0040922 UR_{min} + 1,0705 \frac{n}{N} + 0,065649 U_2 \\ & - 0,0059684 UR_{min} \frac{n}{N} - 0,0005967 UR_{min} U_2 \end{aligned} \quad (\text{Equação 5})$$

Em que:

UR_{min} = umidade relativa mínima do ar (%)

n/N = razão de insolação

U_2 = velocidade média do vento a 2 m de altura (m/s)

Tabela 2 - Porcentagem da média diária mensal do total de fotoperíodo anual (p) para diferentes latitudes no hemisfério Sul.

Lat. Sul	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0°	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
5°	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28
10°	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29
15°	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,29
20°	0,30	0,29	0,28	0,26	0,25	0,25	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30
25°	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25	0,24	0,24	0,26	0,27	0,29	0,30	0,31
30°	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32

Fonte: Adaptado de DOORENBOS; PRUITT, 1984.

O método de Priestley & Taylor (1972) é uma simplificação do método original de Penman (VILLA NOVA; PEREIRA, 2006). A evapotranspiração é estimada por meio da Equação 6.

$$ET_o = \frac{\alpha[\Delta/(\Delta + \gamma)(R_n - G)]}{2,45} \quad (\text{Equação 6})$$

Em que:

α = constante de proporcionalidade, valor dependente do local e da cultura (em geral, adota-se o valor proposto por Priestley-Taylor de 1,26)

Δ = tangente à curva de pressão de saturação de vapor d'água à temperatura média do ar (kPa °C⁻¹)

γ = coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹)

R_n = saldo de radiação (MJ m⁻² dia⁻¹)

G = fluxo de calor sensível no solo (MJ m⁻² dia⁻¹), normalmente desprezado por ser muito baixo quando comparado a ordem de grandeza de R_n .

$\Delta/(\Delta + \gamma)$ = fator de ponderação definido em função da temperatura média do ar, conforme disposto na Tabela 3 proposta por Fontana (1990).

Tabela 3 - Valores de $\Delta/(\Delta+\gamma)$ em função da temperatura média do ar (T).

T (°C)	$\Delta/(\Delta+\gamma)$	T (°C)	$\Delta/(\Delta+\gamma)$	T (°C)	$\Delta/(\Delta+\gamma)$	T (°C)	$\Delta/(\Delta+\gamma)$
1	0,37	11	0,58	21	0,69	31	0,80
2	0,44	12	0,58	22	0,71	32	0,81
3	0,44	13	0,61	23	0,72	33	0,81
4	0,44	14	0,61	24	0,72	34	0,81
5	0,50	15	0,61	25	0,74	35	0,82
6	0,50	16	0,64	26	0,75	36	0,84
7	0,54	17	0,64	27	0,76	37	0,84
8	0,54	18	0,67	28	0,76	38	0,85
9	0,54	19	0,67	29	0,78	39	0,85
10	0,54	20	0,67	30	0,79	40	0,85

Fonte: Adaptado de FONTANA, 1990.

O método do Tanque Classe A tem sido largamente empregado na agricultura irrigada para fins de estimativa de E_{To} por ser mais simples e de baixo custo em relação aos demais métodos agrometeorológicos. Isto porque integra a energia advectiva advinda de áreas adjacentes, bem como constitui abordagem que melhor expressa a realidade física do processo de perda d'água. O Tanque Classe A consiste em um tanque circular de aço inoxidável ou galvanizado, chapa nº 22, com 121 cm de diâmetro interno e 25,5 cm de profundidade (DOORENBOS; PRUITT, 1977), instalado sobre um estrado de madeira de 15 cm de altura, com seu interior cheio de água até 5 cm da borda superior.

Para determinar a E_{To} , inicialmente mede-se a evaporação do tanque Classe A com auxílio de um parafuso micrométrico de gancho, que fica assentado sobre um poço tranquilizador. Por meio do parafuso micrométrico realiza-se a leitura da evaporação do tanque Classe A (ECA) e posteriormente calcula-se a E_{To} por meio da equação 7.

$$ET_o = ECA \times K_p$$

(Equação 7)

Os valores do coeficiente de Tanque Classe A (K_p) variam com a transferência de vapor d'água no meio, sendo influenciados pela velocidade do vento, pela umidade relativa do ar, pela área de bordadura ou tampão e pelo local de instalação do tanque. Os valores de K_p encontram-se disponíveis na Tabela 4 (DOORENBOS; KASSAM, 1979). Sob a ausência de variáveis que possibilitam a obtenção de K_p via tabular ou por intermédio de estudos de regressão, recomenda-se adotar o valor fixo 0,75 sob condições de vento fraco a moderado, ou o valor fixo 0,60 para condição de regime de vento forte.

Tabela 4 - Coeficiente de Tanque Classe A (K_p) sob as diferentes condições de bordadura, local de instalação do tanque, umidade relativa média do ar e velocidade média do vento.

	Tanque circundado por grama				Tanque circundado por solo descoberto			
		Umidade relativa do ar				Umidade relativa do ar		
Velocidade do vento (m/s)	Tamanho da bordadura ¹ (m)	Baixa <40%	Média 40-70%	Alta >70%	Tamanho da bordadura ¹ (m)	Baixa <40%	Média 40-70%	Alta >70%
Fraco <2	1	0,55	0,65	0,75	1	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
Moderado 2-5	1	0,50	0,60	0,65	1	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
Forte 5-8	1	0,45	0,50	0,60	1	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,65
	100	0,60	0,65	0,70	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55
Muito forte > 8	1	0,40	0,45	0,50	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45

¹ Distância entre o extremo da bordadura e o tanque medida na direção predominante dos ventos.

Fonte: DOORENBOS; KASSAM, 1979.

5. Necessidade hídrica da macieira

A macieira é uma planta de grande porte com abundante vegetação. Logo, a evapotranspiração da cultura é alta, causando grande exigência de suprimento hídrico. A demanda de água da cultura varia conforme as condições meteorológicas locais, o porta-enxerto, o desenvolvimento do dossel vegetativo, a variedade, entre outros fatores. Normalmente, as maiores exigências hídricas culminam no período entre o final do crescimento dos ramos e a colheita (BEUKES; WEBER, 1982). Variações climáticas tornam-se motivo de preocupação em todos os setores da agricultura mundial.

A irregularidade e a má distribuição das chuvas têm causado problemas tanto no que se refere à qualidade quanto à produtividade de macieiras. Esses períodos de déficit hídrico ocorrem principalmente nas etapas do ciclo produtivo da maçã em que a demanda hídrica é maior, fato que tem aumentado o interesse dos produtores pela instalação de sistemas de irrigação em suas áreas de produção. Na hipótese de essas mudanças nas condições climáticas da região confirmarem a redução na disponibilidade hídrica dos solos, a instalação de sistemas de irrigação e/ou fertirrigação nos pomares de macieira será concebida como uma técnica extremamente viável para manter a qualidade dos frutos e elevar a produtividade dos pomares em escala comercial (CARGNINO, 2013).

O valor total de ET_c da macieira em Vacaria (RS) no período avaliado por CARGNINO (2013) foi de 314,8 mm, com média de $1,9 \text{ mm dia}^{-1} \text{ arv}^{-1}$ e variações diárias entre 0,3 e $4,5 \text{ mm dia}^{-1} \text{ arv}^{-1}$. As médias mensais de ET_c oscilaram entre 0,3 e $3,0 \text{ mm dia}^{-1} \text{ arv}^{-1}$. Os maiores valores médios de ET_c ocorreram nos meses de janeiro, fevereiro e março, coincidindo com os períodos de crescimento e maturação de frutos, colheita e pós-colheita. Os menores valores de ET_c foram registrados no início e no final do ciclo da cultura, correspondendo

aos períodos de início de crescimento dos frutos e início da hibernação, respectivamente.

Em estudo desenvolvido na China, Gong et al. (2007) registraram valor médio de ET_c igual a $2,2 \text{ mm dia}^{-1} \text{ arv}^{-1}$, com pico máximo de $4,4 \text{ mm dia}^{-1} \text{ arv}^{-1}$. Entretanto, Garcia-Petillo et al. (2003) observaram no Uruguai valores máximos de ET_c ao redor de $5,0 \text{ mm dia}^{-1} \text{ arv}^{-1}$.

No caso particular da macieira, períodos de déficit hídrico causam impactos negativos significativos, principalmente no que se refere ao crescimento de frutos, à diferenciação das gemas da safra seguinte e à absorção de nutrientes (NACHTIGALL; FREIRE, 1998). Diante de tal problema, cresce o interesse por adoção de sistemas de irrigação capazes de suprir a demanda hídrica das plantas durante períodos críticos.

5.1 EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA

Os modelos agrometeorológicos têm por finalidade calcular a evapotranspiração atual da cultura e/ou a transpiração das plantas por intermédio do regime vigente dos elementos de clima em dado local. A evapotranspiração máxima da cultura introduzida por Doorenbos e Pruitt (1977) representa a evapotranspiração de uma espécie vegetal cultivada sob as condições estabelecidas por Penman (1956), como reportado no item 2.3.

A ET_c da macieira poderá então ser estimada a partir da evapotranspiração de referência (ET_o) e do coeficiente de cultura (K_c) definido em cada etapa fenológica da cultura, conforme Equação 8.

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (\text{Equação 8})$$

Ressalta-se que a aplicação desse cálculo é válida somente sob condições de adequado suprimento de água no solo. Assim, o conhecimento da ET_c para a macieira apenas poderá ser adquirido se a lâmina atual de água no solo (LAS) estiver dentro do intervalo

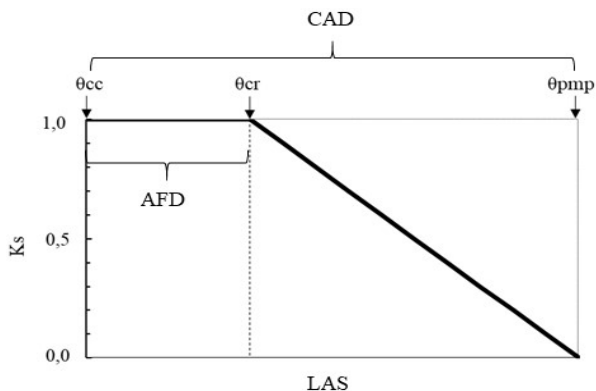
da água facilmente disponível, ou seja, se umidade atual do solo for superior à umidade crítica para a cultura sob dada condição de solo.

Nos dias em que a LAS se encontra abaixo do limite da água facilmente disponível (AFD), ocorre restrições à perda de água por evapotranspiração nas lavouras de modo a não se atender à condição hídrica necessária que possibilitará a ocorrência de taxas de evapotranspiração na razão potencial. Verifica-se, nessa situação, o estabelecimento da evapotranspiração da cultura sob condição de suprimento inadequado de água no solo ($ET_{c_{aj}}$) (ALLEN et al., 1998). Para contornar esse efeito e estimar com certo grau de confiabilidade a evapotranspiração atual da cultura, sugere-se a adoção do coeficiente de estresse hídrico (K_s). Dessa forma, a evapotranspiração atual da cultura poderá ser estimada através da Equação 9.

$$ET_{c_{aj}} = ET_o \times K_c \times K_s \quad (\text{Equação 9})$$

O K_s representa o efeito do esgotamento de água no perfil do solo explorado pelas raízes da macieira sobre as taxas de evapotranspiração da cultura. Em termos práticos, considera-se que uma redução significativa na evapotranspiração ocorrerá somente após o momento em que se verifica o consumo pleno da AFD. Assim, se a LAS for igual ou superior a AFD, o valor de K_s será igual a 1 (indicativo de suprimento hídrico adequado). Entretanto, se LAS foi inferior à AFD (condição que expressa restrição hídrica), o valor de K_s será menor do que 1, conforme ilustra a Figura 9.

Figura 9 – Curva do coeficiente de estresse hídrico no solo (K_s).



Em que:

θ_{cc} = umidade volumétrica na capacidade de campo (%)

θ_{cr} = umidade volumétrica no potencial crítico para a cultura (%)

θ_{pmp} = umidade volumétrica no ponto de murcha (%)

CAD = capacidade de água disponível do solo (mm)

AFD = água facilmente disponível (mm)

LAS = lâmina atual de água no solo (mm)

Fonte: DOORENBOS; KASSAM, 1979.

Sob condições de suprimento inadequado de água no solo, observa-se queda nos valores de K_s no momento que LAS (eixo x) é inferior ao limite da AFD. Nessa situação, o valor de K_s é determinado através da Equação 10.

$$K_s = \frac{CAD - D_r}{CAD - AFD} \quad (\text{Equação 10})$$

Em que:

CAD = capacidade de água disponível do solo (mm)

D_r = depleção de suprimento de água no solo acumulada no período (mm)

AFD = água facilmente disponível (mm)

Nota-se que, em sistemas irrigados, dificilmente será aplicado o Ks para ajustar a evapotranspiração atual da cultura, visto que o manejo de água no solo deve compreender os limites superior e inferior da AFD.

Na irrigação localizada, em geral, não há o molhamento de toda a área irrigada, sendo necessário considerar o fator de ajuste relativo à porcentagem da área molhada, denominado *coeficiente de irrigação localizada* (Kl), como apresentado no item 3.3. O ajuste do Kl pode ser obtido por meio da Equação 11 (KELLER; BLIESNER, 1990). No caso específico da irrigação localizada, a ETC é ajustada pelo Kl (Equação 12).

$$Kl = 0,1\sqrt{PAM} \quad (\text{Equação 11})$$

$$ETC_{loc} = ETC \times Kl \quad (\text{Equação 12})$$

Em que:

Kl = coeficiente de irrigação localizada

PAM = porcentagem de área molhada (%)

ETC_{loc} = evapotranspiração da cultura para irrigação localizada (mm dia⁻¹)

ETC = evapotranspiração máxima de cultura (mm dia⁻¹).

5.2 COEFICIENTE DE CULTURA DA MACIEIRA

O coeficiente de cultura (Kc) médio mensal da macieira tende a apresentar comportamento quadrático, conforme reportado por Conceição et al. (2011) sob as condições climáticas do Rio Grande do Sul, os quais observaram valores de Kc variando entre 0,19 e 0,88, com média igual a 0,58. Gong et al. (2007) registraram valores de Kc da macieira compreendidos entre 0,43 e 1,01. Estes últimos autores propuseram duas equações para estimar Kc, sendo uma fundamentada nos dias após aparecimento do botão floral (Equação 13) e outra baseada no IAF (Equação 14).

$$Kc = -10^{-7}DAB^3 - 3 \times 10^{-5}DAB^2 + 0,0116DAB + 0,3152 \quad (\text{Equação 13})$$

$$Kc = 0,2220IAF + 0,4283 \quad (\text{Equação 14})$$

Em que:

DAB = número de dias após aparecimento do botão floral (dias)

IAF = índice de área foliar ($m^2 m^{-2}$)

Os valores de Kc para a macieira, segundo a FAO (ALLEN et al., 1998), variam entre 0,60 e 0,95 para a condição de ausência de cobertura do solo e assumem valores entre 0,80 e 1,20 sob situação de plena cobertura do solo durante o período de formação da produção da cultura. A Tabela 5 ilustra alguns valores de Kc para a maçã obtidos sob diferentes condições edafoclimáticas.

Tabela 5 – Valores de coeficiente de cultura (Kc) para a macieira em diferentes locais e etapas fenológicas da cultura.

Referência	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.
	GF-IF		Fl-Fr			Mat	
Vacaria, RS*	-	0,20	0,45	0,65	0,90	0,90	0,25
Chile*	-	0,55	0,80	0,90	0,90	0,85	0,60
Austrália**	0,50	0,60	0,60	0,80	0,80	0,80	0,40
FAO ¹	0,60		0,95			0,75	
FAO ²	0,80		1,20			0,85	

¹ Sem cobertura do solo.

² Com cobertura ativa do solo (ALLEN et al., 1998).

GF = desenvolvimento das gemas florais

IF = início da floração

Fl = floração

Fr = frutificação

Mat = maturação dos frutos

* Informações adaptadas de CONCEIÇÃO et al., 2011.

** Informações adaptadas de BOLAND; ZIEHRL; BEAUMONT, 2002.

Analisando-se os dados demonstrados na Tabela 5, constata-se que as informações de K_c diferem para diferentes regiões do mundo. Conceição et al. (2011) ponderam que os valores de K_c da macieira variam conforme a cultivar, o manejo adotado nos pomares, a densidade de plantio, o porta-enxerto, a cobertura do solo, entre outros fatores do meio.

5.3 TRANSPIRAÇÃO DA MACIEIRA

Atualmente, verifica-se a tentativa de estimar a transpiração de frutíferas por meio do uso de modelos meteorológicos, os quais não exigem a determinação direta das duas resistências envolvidas no cálculo da evapotranspiração de referência, ou ainda, por intermédio de equações de regressão que expressam a relação de dependência entre transpiração escalonada pela área foliar, densidade da copa e radiação solar absorvida e demanda potencial (ANGELOCCI, 1996; BRAUN; SCHMID, 1999; VALANCOGNE et al., 2000). Tais modelos simplificam o cálculo da transpiração, sendo este dependente apenas do conhecimento da área foliar da cultura e da evapotranspiração de referência. Contudo, a aplicação desses modelos matemáticos é específica para a espécie vegetal exposta às condições meteorológicas locais em estudo.

Pereira, Villa Nova e Alfaro (2009) propuseram um modelo agrometeorológico para estimar a transpiração de um pomar de macieiras em função da área foliar das árvores e da evapotranspiração potencial ou de referência sob as condições climáticas de Bordeaux, na região sudoeste da França, durante dois anos de cultivo. Os elementos meteorológicos empregados nesse modelo, que leva em consideração a eficiência de conversão de energia solar na transpiração das árvores de macieira, foram: saldo de radiação e déficit de saturação do ar. O parâmetro da cultura utilizado como variável de entrada no modelo foi a área foliar. Assim, os autores

obtiveram o seguinte modelo (Equação 15) para estimar a transpiração da macieira:

$$TM = (0,1 + 0,0287 \times \Delta e) \times Rn \times AF \quad (\text{Equação 15})$$

Em que:

TM = transpiração da macieira ($L \text{ arv}^{-1} \text{ dia}^{-1}$)

Δe = déficit de pressão de vapor médio diário do ar (kPa)

Rn = saldo de radiação ($MJ \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$)

AF = área foliar (m^2)

O déficit de saturação do ar (Δe) tem grande influência sobre os processos de fluxo de seiva e transpiração em pomar de macieiras. A correlação positiva e linear entre Δe e a eficiência de conversão de energia solar em taxas de transpiração permite inferir que, quanto mais seco estiver o ar atmosférico, maior será a eficiência de utilização da energia líquida disponível no processo de perda d'água de macieiras através dos estômatos. A transpiração vegetal é um processo biofísico que consome energia do meio onde as plantas se desenvolvem e somente ocorrerá se houver energia radiante disponível, a qual é condicionada pelo estabelecimento de um gradiente de pressão de vapor entre as folhas das árvores e o meio ambiente (Pereira et al., 2011).

Pereira, Villa Nova e Alfaro (2009) constataram que a transpiração de macieiras pode ser estimada com alta precisão e exatidão a partir da área foliar das árvores, do saldo de radiação e do déficit de saturação do ar. O método proposto se constitui em um procedimento de cálculo das lâminas de irrigação localizadas em pomares de macieiras, podendo ser recomendado para diversas localidades climáticas, desde que seja calibrado por intermédio de medidas lisimétricas ou pelo emprego do método de balanço de calor.

Ainda com o objetivo de contornar as dificuldades inerentes aos aspectos práticos e operacionais da abordagem do método de balanço de calor para avaliar o fluxo de seiva no caule de espécies arbóreas, os quais impossibilitam sua aplicação generalizada para fins de planejamento da irrigação em pomares de espécies frutíferas (ANGELOCCI, 1996; MARIN et al., 2008), Pereira et al. (2011) propuseram uma nova metodologia para cálculo das taxas de transpiração de pomares de macieira com base nos seguintes elementos meteorológicos e parâmetros de cultura: umidade relativa média do ar, temperatura média do ar, duração do fotoperíodo e área foliar da árvore. Nesse modelo, a transpiração da macieira é estimada por meio da Equação 16, a seguir.

$$TM = - \frac{0,655 \times T \times \ln\left(\frac{UR}{100}\right) \times N \times AF}{1230,3 - 9,636 \times UR} \quad (\text{Equação 16})$$

Em que:

TM = transpiração da macieira (L arv⁻¹ dia⁻¹)

T = temperatura média do ar (K)

UR = umidade relativa média do ar (%)

N = duração do fotoperíodo (h)

AF = área foliar (m²)

A abordagem proposta por Pereira et al. (2011) dispensa o uso da condutância à difusão de vapor d'água, condutância aerodinâmica e radiação líquida no nível do dossel, sendo a base para diferenças existentes entre o potencial hídrico do ar e o potencial de água no interior da câmara subestomática das folhas. Tal gradiente de potencial hídrico é a força propulsora do processo transpiratório. Sua utilização como uma ferramenta para maximização das produções de frutíferas com melhor aproveitamento dos recursos hídricos sob sistema de irrigação por gotejamento em pomares foi testada quanto à sua viabilidade, considerando-se no procedimento de validação os

dados de fluxo de seiva coletados por Angelocci (1996) em árvores de macieira, bem como por Marin (2000) em pomares de limoeiros sob condições climáticas distintas.

A aplicação da metodologia é simples e pode ser vista como uma contribuição importante para proporcionar o conhecimento da necessidade de água a ser aplicada por irrigação localizada em pomares de macieira. Ela permite a obtenção de economia significativa de água, a qual vem sendo cada vez mais necessária, tendo em vista a demanda crescente por recursos naturais para assegurar elevadas produções de espécies frutíferas com qualidade sob proteção ambiental em dada região ou local.

6. Manejo da irrigação

6.1 LÂMINA LÍQUIDA E BRUTA DE IRRIGAÇÃO

O método mais simples para estimar a lâmina líquida de irrigação (LLI) e factível de aplicação em áreas irrigadas, via monitoramento de elementos de clima, é o cômputo entre a saída de água do sistema devida a ET_c e a entrada de água no mesmo dada pela precipitação efetiva do período (Pe). Nesse método, os valores de evapotranspiração atual da cultura ou de transpiração diária são acumulados no intervalo de tempo (turno de rega) estabelecido para manejo da irrigação. Posteriormente, subtrai-se a precipitação efetiva (Pe) acumulada no período, obtendo-se assim a LLI.

O procedimento de cálculo da LLI é descrito na Equação 17.

$$LLI = \sum_1^{TR} ET_c - \sum_1^{TR} Pe \quad (\text{Equação 17})$$

Em que:

LLI = lâmina líquida de irrigação (mm)

ET_c = evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1}), a qual pode ser substituída pela transpiração das plantas, especialmente sob sistemas de irrigação localizada

TR = turno de rega (dias), recomendando-se para a irrigação localizada um turno de rega compreendido entre 1 e 5 dias para macieira

Pe = precipitação efetiva do período (mm)

Por intermédio da Equação 17, constata-se que a LLI representa a quantidade de água efetivamente utilizada pela cultura. Como os sistemas de irrigação evidenciam eficiências distintas, a quantidade de água derivada da fonte hídrica deve ser superior à LLI para atender à demanda evaporativa das culturas. Dessa forma, utiliza-se a lâmina bruta de irrigação, conforme Equação 18.

$$LBI = \frac{LLI}{E_i} \times 100 \quad (\text{Equação 18})$$

Em que:

LBI = lâmina bruta de irrigação (mm)

LLI = lâmina líquida de irrigação (mm)

E_i = eficiência do sistema de irrigação (%)

A eficiência de irrigação (E_i) depende das características do sistema de irrigação, devendo ser avaliada *in situ* e periodicamente entre diversos anos agrícolas. Na Tabela 6 estão ilustrados os valores de E_i frequentemente observados sob diferentes sistemas de irrigação especificamente empregados na cultura da macieira.

Tabela 6 - Valores de eficiência do sistema de irrigação frequentemente observados sob os principais sistemas de irrigação adotados em pomares de macieira.

Sistema de irrigação	E _i (%)
Sulcos*	40 – 60
Aspersão convencional	65 – 85
Autopropelidos	65 – 80
Microaspersão	70 – 90
Gotejamento superficial	80 – 95
Gotejamento subsuperficial	80 – 95

*Informações adaptadas de Brouwer, Prins e Heibloem (1989)

6.2 BALANÇO HÍDRICO PARA CONTROLE DA IRRIGAÇÃO

O balanço hídrico para controle da irrigação (BHI) representa o cômputo das entradas e das saídas de água no perfil do solo explorado pelo sistema radicular da cultura durante determinado intervalo de tempo (turno de rega). Para a elaboração do BHI, considera-se o

perfil do solo como um reservatório natural de água para as plantas, sendo limitado pelo intervalo da água facilmente disponível.

Para realizar o manejo via BHI, o primeiro passo é definir a AFD, que pode ser estabelecida considerando-se o fator de disponibilidade de água no solo (f), de acordo com a Equação 19. Outra forma para se determinar a AFD é por meio da umidade crítica do solo (θ_{cr}) para macieira, conforme a Equação 20. Detalhes pertinentes à definição da AFD estão descritos no item 2.8 e ilustrados na Figura 4.

$$AFD = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \times Z \times f \quad (\text{Equação 19})$$

$$AFD = (\theta_{cc} - \theta_{cr}) \times Z \quad (\text{Equação 20})$$

Em que:

θ_{cc} = umidade volumétrica na capacidade de campo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)

θ_{pmp} = umidade volumétrica no ponto de murcha permanente ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)

Z = profundidade efetiva do sistema radicular de árvores de macieira (mm)

f = fator de disponibilidade de água no solo (adimensional)

θ_{cr} = umidade volumétrica no potencial de água no solo crítico para a macieira, compreendendo os valores de umidade do solo no limiar de potencial matricial -50 kPa para solos de textura arenosa e média, bem como de -70 kPa para solo de textura argilosa.

O fator de disponibilidade de água (f) varia com a espécie vegetal considerada, a evapotranspiração máxima da cultura e a profundidade efetiva do sistema radicular (DOORENBOS; KASSAM, 1979). Para a macieira e outras culturas agrícolas, Allen et al. (1998) propuseram uma aproximação numérica para ajuste de f em função de ET_c (Equação 21). Nesse ajuste, o valor de f é limitado a $0,1 \leq f \leq 0,8$.

$$f = f_5 + 0,04(5 - ET_c) \quad (\text{Equação 21})$$

Em que:

f = fator de disponibilidade de água no solo (adimensional)

f_5 = fator de disponibilidade para ET_c próxima a 5,0 mm dia⁻¹, que corresponde ao valor 0,5 para a macieira (ALLEN et al., 1998)

ET_c = evapotranspiração máxima de cultura (mm dia⁻¹)

Ressalta-se que, sob irrigação localizada, deve-se adotar a $ET_{c_{loc}}$ (Equação 12).

O manejo da irrigação via balanço hídrico é realizado sob condição de turno de rega fixo ou de turno de rega variável (Pereira et al., 2007).

6.21 Turno de Rega

O turno de rega é definido como o intervalo de tempo compreendido entre dois episódios de irrigação consecutivos, sendo baseado na água facilmente disponível no perfil do solo explorado pelo sistema radicular da cultura e na provável demanda climática ideal de água da cultura (ET_m), conforme descreve a Equação 22. O turno de rega é calculado para todas as etapas fenológicas da cultura, sendo uma variável de grande importância na elaboração de projetos de frequência de irrigação de culturas agrícolas.

$$TR = \frac{AFD}{ET_m} \quad (\text{Equação 22})$$

A obtenção da ET_m baseia-se na série histórica de ET_o e no K_c recomendado para as diferentes etapas fenológicas da cultura (ver Tabela 4). Saad et al. (2002) recomendam que o valor de ET_o seja obtido ao nível de 75% de probabilidade de ocorrência no período de maior exigência de água das plantas.

7. Irrigação para controle de geadas em macieiras

A irrigação constitui prática agrícola que vem sendo utilizada no sul do Brasil para controlar geadas microclimáticas ou de irradiação noturna (geadas verdadeiras) em pomares de espécies frutíferas de clima temperado, como a macieira.

Nos pomares de frutíferas de clima temperado, as geadas tardias ou de primavera requerem maior atenção pelos produtores, pois ocorrem nas fases de brotação e de floração da macieira. As geadas precoces ou de outono também requerem atenção, uma vez que sua ocorrência promove danos aos frutos, principalmente nas cultivares Fuji, Cripps Pink, Elenise e em outras cultivares com colheita a partir de março.

A irrigação por aspersão destaca-se como medida de combate direto a geadas, especialmente a prática que requer a utilização de aspersores de pequeno porte instalados em sistemas fixo e acima do dossel vegetativo das plantas (Figura 10). Entretanto, vale mencionar que outros métodos de irrigação também minimizam a intensidade das geadas verdadeiras por incrementar o armazenamento de calor no solo.

A irrigação por sulcos ou por gotejo aumenta a condutividade térmica do solo, fazendo com que os fluxos de calor no solo sejam facilitados e promovam aquecimento mais rápido do solo durante o dia e um resfriamento mais paulatino do solo durante as horas da noite. Solos úmidos armazenam mais calor no perfil do solo do que solos secos.

A irrigação localizada melhora significativamente o papel do solo como reservatório de calor, de modo a estabelecer, portanto, um balanço de energia nos pomares mais compatível com as necessidades fisiológicas das plantas. A irrigação por aspersão, por outro lado, além de aumentar a condutividade térmica do solo eleva a umidade

atmosférica, propiciando que a radiação de onda longa emitida pelo solo seja contra irradiada na direção da superfície, elevando, assim, o balanço geral de radiação na comunidade vegetal e minimizando os efeitos drásticos das geadas.

Figura 10 – Irrigação por microaspersão instalada sobre a copa da macieira para controle de geadas.



Fonte: Daurimar Mendes

Cabe, agora, indagar como proceder ao manejo da irrigação em pomares de macieira de modo a efetivamente minimizar os efeitos negativos das geadas verdadeiras em regiões produtoras dessa frutífera? A literatura brasileira é bastante incipiente e não reporta resultados precisos a respeito de informações de cunho prático para atender às necessidades do fruticultor. No entanto, há uma recomendação geral de que a lâmina de irrigação a ser adotada seja de 2 a 6 mm h⁻¹ durante a noite da geada (PEREIRA et al., 2007).

Porque então a irrigação por aspersão melhora o balanço de energia de uma dada comunidade vegetal e pode ser empregada, enfim, para combater geadas em campos de produção agrícola? Porque a água de irrigação ao entrar em contato com a cultura se resfria e congela, liberando calor latente para o ar adjacente em contato com

a superfície, de modo a manter a temperatura das plantas em torno de 0°C. Vale destacar que a zero graus centígrados as plantas não se congelam, pois a concentração de sólidos solúveis presente nos tecidos vegetais faz com que o congelamento de seivas associado à ruptura da membrana plasmática das células somente se verifique sob temperaturas negativas.

Deve-se lembrar que o equipamento empregado para aspersão de água no controle de geada verdadeira é específico, diferindo daquele utilizado na irrigação convencional, e a aplicação de água deve iniciar quando a temperatura ainda estiver positiva. Quanto mais seco estiver o ar, mais cedo se deve proceder à irrigação. Para o início de operação dos aspersores, a temperatura é de +4 °C (ar muito seco) a +0,5 °C (ar mais úmido). O término da irrigação só deve ocorrer quando a temperatura voltar a subir e for constatado o derretimento do gelo formado sobre as plantas (Figura 11).

Figura 11 – Momento do término da irrigação para controle de geadas.



Fonte: Pixabay/Cydonia.

Destaca-se que o emprego da irrigação por aspersão deve ser mantido durante todo o período de controle da geada. A realização de irrigações apenas no período diurno pode intensificar os danos da geada.

8. Produção e qualidade dos frutos da macieira

As plantas absorvem água do solo e perdem-na para a atmosfera constantemente; em dias ensolarados, quentes e secos e com adequada disponibilidade de água no solo, uma folha renovará até 100% de sua água em apenas uma hora (TAIZ; ZEIGER, 2006). Entretanto, quando há redução na disponibilidade de água no solo, o desenvolvimento das plantas é comprometido, pois estas entram em estresse hídrico, com quedas significativas na turgescência celular e efeito sobre as reações bioquímicas celulares.

A intensificação do déficit de água no solo ou o aumento da demanda evaporativa da atmosfera promove aumento da resistência estomática como um mecanismo de controle das perdas de vapor d'água das folhas para a atmosfera. A mudança na resistência estomática afeta diretamente a absorção de dióxido de carbono atmosférico necessário à fotossíntese, comprometendo a produção de fotoassimilados e a produtividade agrícola das lavouras (LECOEUR; SINCLAIR, 1996; LAWLOR; CORNIC, 2002). Dessa forma, quando a disponibilidade de água às plantas é deficiente, torna-se imprescindível a adoção da irrigação para a manutenção de altos rendimentos agrícolas.

Ótimo crescimento e produção de espécies frutíferas estão fortemente condicionados ao manejo racional da irrigação. Vários métodos de estimativa das exigências hídricas de espécies arbóreas têm sido utilizados, tais como as medidas diretas e indiretas de solo, de água e de clima. Em razão das diferenças estruturais anatômicas e morfológicas das árvores e da adaptação delas ao excesso de água e à deficiência hídrica no solo, tais critérios de manejo de água tornam-se mais adequados para espécies herbáceas, não sendo precisos para espécies arbóreas.

A irrigação baseada no clima e no monitoramento da umidade do solo resultou em diferenças não significativas tanto no solo quanto no estado hídrico das árvores sob as condições de clima temperado e subtropical. Os resultados de pesquisa obtidos por Al-Yahyai (2012) indicaram a necessidade de melhor compreensão e utilização dos parâmetros fisiológicos da planta para manejo da irrigação em pomares de espécies frutíferas, aspecto que leva à obtenção de produções ótimas e com boa qualidade comercial associada à conservação dos recursos hídricos no meio agrícola.

Apesar das variações inerentes aos recursos hídricos disponíveis entre os países produtores de frutas, a questão relativa à frequência de irrigação e à lâmina de água a ser aplicada em espécies frutíferas é de comum preocupação entre os cientistas do mundo inteiro.

O fornecimento insuficiente de água pode resultar em redução no crescimento dos frutos e em comprometimento da qualidade destes em virtude do déficit hídrico. A irrigação excessiva, por outro lado, poderá aumentar a lixiviação de nutrientes minerais, promover o encharcamento na zona de desenvolvimento radicular, aumentar a incidência de doenças e o ataque de pragas na lavoura, além de elevar o custo de produção dos fruticultores. Assim, otimizar a aplicação e o controle de água em pomares mediante a adoção da irrigação racional certamente conserva o ambiente agrícola, reduz os custos de produção e aumenta o rendimento biológico do pomar, melhorando a qualidade dos frutos. A sistematização da irrigação é essencialmente importante para os fruticultores, porque os retornos econômicos em pomares são normalmente mais elevados do que aqueles observados em campos de produção de outras culturas.

Embora métodos embasados em informações de clima e de solo possibilitem estimativas de lâmina de irrigação e definição do turno de rega, estes não levam em consideração a variabilidade entre

espécies frutíferas, cultivares, estágio fenológico ou resposta das árvores ao déficit hídrico. O limiar crítico de água no solo que ainda assegura a expressão do potencial produtivo de espécies arbóreas em dado local varia entre as variedades das espécies frutíferas, da densidade e da profundidade das raízes, do tipo de solo e das condições climáticas locais. Diversos parâmetros fisiológicos podem ser empregados como guia de irrigação em pomares de frutíferas. Entre eles, frequentemente utiliza-se o potencial de água no tronco (ψ_t) das árvores (HSIAO, 1990; AL-YAHYAI; SCHAFFER; DAVIES, 2005).

Fallahi et al. (2010), sob as condições climáticas locais de Idaho, Estados Unidos, propuseram uma modificação nos valores de consumo relativo de água (Kc), considerando-se a porcentagem de solo sombreado pelas árvores de macieira e a idade fisiológica das árvores. Os autores constataram que o déficit de irrigação localizada proporcionou, inicialmente, um aumento da produção em virtude da indução do estresse e da produção de maior número de frutos pontiagudos. Contudo, o rendimento reduziu sob deficiência hídrica repetida no transcorrer de quatro anos agrícolas.

Por meio do sistema de microaspersão, o regime de secamento parcial da zona radicular das árvores reduz o tamanho dos frutos e promove ligeira melhoria na coloração dos frutos da macieira, de acordo com Fallahi et al. (2010). Esses autores constataram que a aplicação de 65% da taxa plena de irrigação por gotejamento em duas fileiras de cultivo das árvores (DD) reduziu o tamanho dos frutos. Porém, quando 65% da taxa plena de irrigação localizada ocorreu apenas em uma das linhas de cultivo das árvores a cada duas semanas, o tamanho dos frutos foi maior do que aquele obtido sob o tratamento DD.

Irrigando plantas de maçã com três sistemas de irrigação (microaspersão, gotejamento e inundação) e três níveis fundamentados no coeficiente do Tanque Classe A, por um período de seis anos na

região central do México, Rodrigues e Lozano (1991) constataram que as plantas irrigadas via microaspersão e gotejamento nos manejos menos restritivos de água apresentaram maior massa de frutos e taxa de crescimento dos frutos. O sistema por inundação no manejo mais restritivo apresentou menor massa de frutos e teores mais elevados de sólidos solúveis nos frutos.

Diante da elevada demanda por novas cultivares de macieira, com alta densidade de copa e diferentes arquiteturas foliares, o impacto de vários sistemas de irrigação e das taxas de água sobre a qualidade dos frutos e o rendimento da macieira necessita ser estudado com riqueza de detalhes em investigações futuras. O sistema de irrigação por gotejamento deve ser, portanto, recomendado como uma prática cultural a ser adotada para maximização da produção de frutos com qualidade pelos fruticultores de diferentes regiões produtoras de maçã do mundo.

9. Considerações finais

A tomada de água e a absorção de nutrientes pelas raízes de espécies arbóreas são extremamente governadas pela demanda evaporativa da atmosfera, sendo, portanto, uma resposta das plantas ao processo de perda d'água. Racionalizar o uso da água de irrigação significa maximizar o rendimento biológico e diminuir os custos de produção em pomares de macieira.

Muitas pesquisas ainda são necessárias para garantir a sustentabilidade da fruticultura nacional, particularmente no que tange à utilização dos mais promissores sistemas de irrigação e das técnicas de fertirrigação, bem como no que se refere à proposição de estudos agrometeorológicos para a avaliação de variáveis ambientais que marcadamente afetam as respostas morfofisiológicas de árvores de macieiras nas diversas regiões produtoras do Brasil.

Referências

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 333 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- AL-YAHYAI, R. Managing irrigation of fruit trees using plant water status. **Agricultural Sciences**, v. 3, p. 35-43, 2012.
- AL-YAHYAI, R.; SCHAFFER, B.; DAVIES, F. S. Physiological response of carambola to soil water depletion. **HortScience**, 40, p. 2.145-2.150, 2005.
- ANGELOCCI, L. R. **Estimativa da transpiração máxima de macieiras (*Malus spp.*) em pomares pelo modelo de Penman-Monteith**. 1996. 103 p. Tese (Livre-Docência). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 1996.
- BENDER, R. J. Botânica e fisiologia. In: EMPRESA Catarinense de Pesquisa Agropecuária. **Manual da cultura da macieira**. Florianópolis: EMPASC, 1986. p. 26-49.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2013. 625 p.
- 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, p. 383-391, 1982.
- BOLAND, A. M.; ZIEHRL, A.; BEAUMONT, J. **Guide to best practice in water management: orchard crops**. Melbourne: Department of Natural Resources and Environment, 2002. 120 p.
- BRAUN, P.; SCHMID, J. Sap flow measurements in Grapevines (*Vitis vinifera* L.). 1 – Stem morphology and use of the heat balance method. **Plant and Soil**, v. 215, p. 39-45, 1999.

- BROUWER, C.; PRINS, K.; HEIBLOEM, M. **Irrigation water management: irrigation scheduling**. Rome, FAO, 1989. 66p. (FAO, Training Manual, n. 4)
- CARDOSO, L. S.; NACHTIGALL, G. R.; BERGAMASCHI, H.; PAULA, V. A.; BOSCO, L. C.; MARODIN, G. A. B. **Condições meteorológicas e a fenologia de macieiras na região de Vacaria, RS**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2013.
- CARGNINO, C. **Irrigação e fertirrigação na cultura da macieira na região dos Campos de Cima da Serra, RS**. 2013. 84 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- CONCEIÇÃO, M. A. F. **Irrigação e fertirrigação de macieira**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2006. 12 p. (Circular Técnica, 71).
- CONCEIÇÃO, M. A. F.; COELHO, R. D. Efeito do vento sobre a distribuição de água por microaspersores DAN 2001. **Irriga**, v. 9, n. 1, 62-71, 2004.
- CONCEIÇÃO, M. A. F.; MANDELLI, F. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em Bento Gonçalves, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 2, p. 303-307, 2005.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome, FAO, 1977. 144p.
- DRAKE, S. R.; PROEBISTING, E. L.; MANHAN, M. O.; THOMPSON, J. B. Influence of trickle and sprinkle irrigation on 'Golden Delicious' apple quality. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 106,, n. 3, p. 255-258, 1981.
- EBEL, R. C.; PROEBISTING, E. L.; PATTERSON, M. E. Regulated Deficit Irrigation May Alter Apple Maturity, Quality, and Storage Life. **HortScience**. v. 28, p. 141-143, 1993.

- FALLAHI, E.; FALLAHI, B.; SHAFFI, B. Irrigation and rootstock influence on water use, tree growth, yield, and fruit quality at harvest at different ages of trees in 'Pacific Gala' apple. **HortScience**, v. 48, p. 588-593, 2013.
- FALLAHI, E.; NEILSEN, D.; NEILSEN, G.H.; FALLAHI, B.; SHAFFI, B. Efficient Irrigation for Optimum Fruit Quality and Yield in Apples. **HortScience**, v. 45, p. 1616-1619, 2010.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. Afghanistan: survey of the horticulture sector 2003. Disponível em: <http://www.fao.org/3/y5163e/y5163e07.htm>. Acesso em: 12 jan. 2019.
- FONTANA, D. C. Determinação da evapotranspiração. In: BERGAMASHI, H. (ed.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: UFRGS, 1990. 125 p.
- GARCÍA-PETILLO, M. Respuesta al riego de Duraznero Manzano y Peral em Montes Comerciales. **Agrociência**, v. 7, p. 49-61, 2003.
- GONG, D.; KANG, S.; YAO, L.; ZHANG, L. Estimation of evapotranspiration and its components from an apple Orchard in Northwest China using sap flow and water balance methods. **Hydrological Processes**, v. 21, p. 931-938, 2007.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering Agriculture**, v. 1, n. 2, p. 96-99, 1985.
- HSIAO, T. Measurements of plant water status. In: STEWARD, B.; NIELSEN, D. (Ed.). Irrigation of Agricultural Crops. **Agronomy Monograph**, ASA, Madison, Wisconsin, n. 30, p. 243-279, 1990.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E PESQUISA AGRÍCOLA. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. v. 29. 78 p.
- INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**. 2009. Disponível

em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 20 Nov. 2019.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reynold, 1990. 652 p.

LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant Cell & Environment**, v. 25, p. 275-294, 2002.

LECOEUR, J.; SINCLAIR, R. T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. **Crop Science**, v. 36, p. 331-335, 1996.

MARIN, F.R. **Evapotranspiração, transpiração e balanço de energia em pomar de Lima Ácida “Tahiti”**. Piracicaba, 2000. 74 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2000.

MARIN, F. R.; RIBEIRO, R.V.; ANGELOCCI, L. R.; RIGHI, E. Z. Fluxo de seiva pelo método do balanço de calor: base teórica, qualidade das medidas e aspectos práticos. **Bragantia**, v. 67, p. 1-14, 2008.

MEDEIROS, S.L.P. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a Região Mesoclimática de Santa Maria - RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, n. 1, p. 105-109, 1998.

MORAIS, H.; CARBONIERI, J. Horas e unidades de frio em pomares de maçã com diferentes microclimas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, p. 1-12, 2015.

MPELASOKA, B.; BEHBOUDIAN, M.; GREEN, S. Water use, yield and fruit quality of Lysimeter-Grown apple trees: responses to deficit irrigation and to crop load. **Irrigation Science**, v. 20, p. 107-113, 2001.

NACHTIGALL, G. R.; FREIRE, C. J. S. Previsão da incidência de “Bitter Pit” em maçãs através dos teores de cálcio em folhas e frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 20, p. 158-166, 1998.

PENMAN, H. L. Evaporation: an introductory survey. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v. 4, p. 9-29, 1956.

PEREIRA, A. B.; PIRES, L. F. Evapotranspiration and water management for crop production. In: GEROSA, G. (org.). Evapotranspiration: from measurements to agricultural and environmental applications. **InTech Open Access Publisher**, Rijeka, v. 2, p. 143-166, 2011.

PEREIRA, A. B.; VILLA NOVA, N. A.; ALFARO, A. T. Necessidades hídricas de citros e macieiras a partir da área foliar e da energia solar. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, p. 671-679, 2009.

PEREIRA, A. B.; SHOCK, C. C.; FEIBERT, E. B. G.; FLOCK, R.; LIMA, L.; FERNANDES, N. Monitoramento da irrigação por meio da tensão de água no solo: guia prático: boletim técnico. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2006. 11p.

PEREIRA, A. B.; SHOCK, C. C.; FEIBERT, E. B. G.; VILLA NOVA, N. A. Performance of “Irrigás” for onion irrigation scheduling compared to three soil water sensors. **Engenharia Rural**, v. 18, p. 109-114, 2007.

PEREIRA, A. B.; VILLA NOVA, N. A., PIRES, L. F. Transpiration of irrigated apple trees and citrus from a water potential gradient approach in the leaf-atmosphere system. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, p. 181-188, 2011.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia agrícola**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2007. 192 p. [Apostila Revisada e Ampliada].

RODRIGUES, A. R.; LOZANO, A. B. Effects of three systems and levels of irrigating apple trees. **Scientia Horticulturae**, v. 47, p. 67-75, 1991.

SAAD, J. C.; BISCARO, G. A.; DELMANTO JÚNIOR, O.; FRIZZONE, J. A. Estudo da distribuição da evapotranspiração de referência visando o dimensionamento de sistemas de irrigação. **Irriga**, v. 7, p. 10-17, 2002.

SADOWNICTWO. Nawadnianie Drzew i Krzewów (Irrigação de Árvores e Arbustos). Disponível em: <https://www.sadownictwo.com.pl/nawadnianie-drzew-i-krzewow> Acesso em: 20 nov. 2019.

SHOCK, C. C.; PEREIRA, A. B.; FEIBERT, E. B. G.; SHOCK, C. A.; AKIN, A. I.; UNLENEN, L. A. Field comparison of soil moisture sensing using neutron thermalization, frequency domain, tensiometer, and granular matrix sensor devices: relevance to precision irrigation. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 8, p. 154-167, 2016.

SYPERRECK, V. L. G.; KLOSOWSKI, E. S.; GRECO, M.; FURLANETTO, C. Avaliação de desempenho de métodos para estimativas de evapotranspiração de referência para a região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, p. 603-609, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. A Água e as Células Vegetais. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Campinas, SP: Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP, 2011. 203p.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E. **Engenharia de irrigação: tubos e acessórios**. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP, 2015. 153p.

UCAR, Y.; KADAYIFCI, A.; ASKIN, M.A.; KANKAYA, A.; SENYIGIT, U.; YILDIRM, F. Effects of irrigation frequency on yield and quality parameters in apple c.v. 'Gala, Galaxy'. **Erwerbs-Obstbau**, v. 58, n. 3, p. 169-175, 2016.

VALANCOGNE, C.; DAYAU, S.; PIERI, P.; FERREIRA, M.I.; SILVEIRA, J.; ANGELOCCI, L.R. Influence of orchard and vineyard characteristics on maximal plant transpiration. **Acta Horticulturae**, v. 537, p. 61-68, 2000.

VILLA NOVA, N.A.; PEREIRA, A.B. Ajuste do método de Priestley-Taylor às condições climáticas locais. **Engenharia Agrícola**, v. 26, p. 395-405, 2006.

VILLA NOVA, N. A.; PEREIRA, A. B.; SHOCK, C. C. Estimation of reference evapotranspiration by an energy balance approach. **Biosystems Engineering**, v. 96, p. 605-615, 2007.

VILLA NOVA, N. A.; MIRANDA, J.H.; PEREIRA, A.B.; SILVA, K.O. Estimation of the potential evapotranspiration by a simplified penman method. **Engenharia Agrícola**, v. 26, p. 713-721, 2006.

Sobre os Autores

Dr. André Belmont Pereira é Professor Associado C do Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). É graduado em Agronomia pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) e mestre e doutor em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista (FCA/UNESP/Botucatu). Tem pós-doutorado em Agronomia com enfoque em Agrometeorologia pelas seguintes Instituições: University of Guelph, Canadá; Oregon State University, USA; Universidade de São Paulo (ESALQ/USP). Tem experiência em Agrometeorologia, atuando nos seguintes temas: Radiometria Solar, Relações Solo-Água-Planta-Atmosfera, Otimização da Irrigação, Bioclimatologia Vegetal, Agricultura Sustentável. E-mail: abelmont@uepg.br

Dr. Eduardo Augusto Agnellos Barbosa é engenheiro agrônomo pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). É mestre em Agricultura Tropical e Subtropical pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC) e doutor em Engenharia Agrícola, área de Água e Solo, pela Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (FEAGRI/UNICAMP). Atualmente, é Professor Adjunto B do Departamento de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) e docente permanente do programa de Pós-Graduação em Agronomia da mesma instituição. Tem experiência na área de Água e Solo, atuando principalmente nos seguintes temas: Irrigação e Drenagem, Relações da Água no Sistema Solo-Planta-Atmosfera, Agrometeorologia, Hidrologia Agrícola. E-mail: eaabarbosa@uepg.br

Sobre o livro

Tipologia Lora 10 pt

Ano 2019