

Capítulo 14

Manejo da irrigação

Mirta Teresinha Petry
Rudinei De Marco
Juliano Dalcin Martins
Carlos Roberto Martins

Introdução

A irrigação é uma prática de manejo que consiste na aplicação artificial de água, visando atender o requerimento hídrico das plantas, de forma integral ou suplementar. A principal questão atribuída à irrigação está relacionada a “quando” e “quanto” de água aplicar em cada uma das áreas. A resposta a essa questão pode ser dada por um adequado manejo ou programação de irrigação, que requer o conhecimento das necessidades hídricas das plantas e suas respostas à água, o que envolve o conhecimento dos estádios de desenvolvimento e períodos críticos à falta de água. O manejo de irrigação também deve envolver as restrições específicas de cada método e equipamento de irrigação, as limitações relativas ao sistema de abastecimento de água e as implicações financeiras e econômicas da prática de irrigação.

A importância da irrigação na noqueira-pecã já é conhecida e influencia diretamente no crescimento, rendimento em quantidade e qualidade do fruto, quando as precipitações pluviais forem insuficientes para atender a demanda evapotranspiratória da cultura. Entretanto, a irrigação precisa ser adequadamente programada, por um lado, para que as plantas não sofram pela ocorrência de estresse e, por outro lado, para que não haja desperdícios de água pela irrigação excessiva, que oneram o sistema e causam prejuízos, pela lixiviação de nutrientes.

Nas últimas décadas, houve grande evolução nas metodologias usadas para apropriadamente indicar quando irrigar e quanta água aplicar, sendo que seu uso deve levar em consideração os custos, a confiabilidade, o preparo do produtor e da propriedade para gerenciar determinada metodologia, de forma a obter a máxima produtividade. Um bom sistema de manejo da irrigação é aquele que conjuga o melhor uso da água, com mínimo gasto de energia e máximo retorno líquido ao produtor. Assim, o momento de irrigar e a lâmina de água a irrigar podem ser baseados na evapotranspiração da cultura (ET_c), na medição da umidade do solo, na medição do status hídrico da planta e/ou, de forma mais confiável, na combinação da evapotranspiração com medidas de umidade do solo ou da planta, ou seja, na realização do balanço hídrico do solo; em escala diária.

As metodologias apresentadas para o manejo da irrigação são todas possíveis de aplicar em nível de propriedade, quando bem operadas. Atualmente, existem vários programas de manejo de irrigação que facilitam as tomadas de decisão por parte do produtor, com diferentes níveis de exigência de interatividade e de manutenção, muitas vezes exigindo acompanhamento profissional especializado. Assim, o melhor sistema sempre é aquele que o produtor saiba manejar, isto é, que seja simples e prático, e que o desonere da obrigatoriedade de alimentar o sistema com uma gama de informações muitas vezes distantes do domínio do produtor irrigante.

Uso da água e efeito do estresse hídrico na noqueira-pecã

A água é essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo considerado o fator de produção mais importante e o mais limitante à produção da maioria das culturas (Taiz et al., 2017). Para a cultura da noqueira-pecã não é diferente. Para se obter boa produtividade, frutos de qualidade e com redução na alternância de produção, a manutenção de umidade no solo é fundamental. Assim, torna-se necessário manejá-la de forma adequada para evitar perdas e desperdícios, sobretudo na irrigação, para que conduza ao aumento da produtividade e/ou contribua para evitar a degradação dos recursos hídricos.

Embora a noqueira-pecã seja nativa de regiões subúmidas, sendo originária das terras baixas do Rio Mississipi, nos Estados Unidos, a cultura necessita grandes quantidades de água durante o seu ciclo (Sparks, 2002). No entanto, a maior área e as maiores produções ocorrem em locais semiáridos a áridos, onde praticamente todo o suprimento hídrico vem da irrigação. Isso não significa que a cultura seja tolerante ao estresse hídrico. Pelo contrário, a noqueira é muito sensível ao déficit hídrico, podendo-se observar queda de frutos com menos de uma semana sem chuva ou irrigação, dependendo do estágio fenológico, das características do solo e das características ambientais.

Tanto a deficiência como o excesso de umidade no solo devem ser considerados no manejo do pomar. Liu e Sheng (2013) avaliaram que o encharcamento (excesso de água e conseqüente deficiência de oxigênio no solo) pode ser tão indesejável como o déficit hídrico para o crescimento e desenvolvimento da noqueira-pecã. Para Smith e Bourne (1989), o excesso de umidade durante a dormência (final de maio a agosto) pode não ser prejudicial, entretanto, quando isso ocorrer a partir da superação da dormência (agosto/setembro), a planta pode ser severamente prejudicada. Assim, áreas mal drenadas, que acumulam água na superfície ou possuem uma camada subsuperficial compactada ou de impedimento natural ao fluxo de água, são fatores limitantes ao desenvolvimento das plantas e devem ser evitadas ou tecnicamente trabalhadas com a implantação de drenos de escoamento ou o plantio em camalhões.

O déficit hídrico pode ser causado por redução no conteúdo de água no solo, por uma elevada demanda evaporativa da atmosfera (Ritchie, 1981a), ou pela ocorrência de ambos, simultaneamente. De uma maneira geral, os efeitos do déficit hídrico sobre o rendimento de frutos dependem do momento em que ocorrem, da duração e da severidade do déficit. Parâmetros quantitativos que expressem a resposta do rendimento das plantas ao déficit são difíceis de estabelecer, pela variabilidade espacial e temporal dos fatores meteorológicos (Zipper et al., 2016), pelas alterações morfológicas e fisiológicas das plantas em resposta à condição de estresse (Lamers et al., 2020) e pela habilidade do solo em armazenar água suficiente para manter a transpiração por prolongados períodos (Ritchie, 1981b).

Na América do Sul, o período mais crítico para a noqueira-pecã correspondente ao desenvolvimento vegetativo e reprodutivo. Durante o estágio fenológico de dormência (maio/junho-agosto) a necessidade hídrica é mínima. No entanto, durante o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo (setembro-maio) tem-se aumento no requerimento hídrico, e déficits nesses períodos poderão causar perdas significativas na produção. Segundo Bergamaschi et al. (2007), é exatamente nesse período que, no Sul do Brasil, o déficit hídrico é causado, principalmente pela distribuição irregular das precipitações pluviárias e elevada demanda evaporativa da atmosfera.

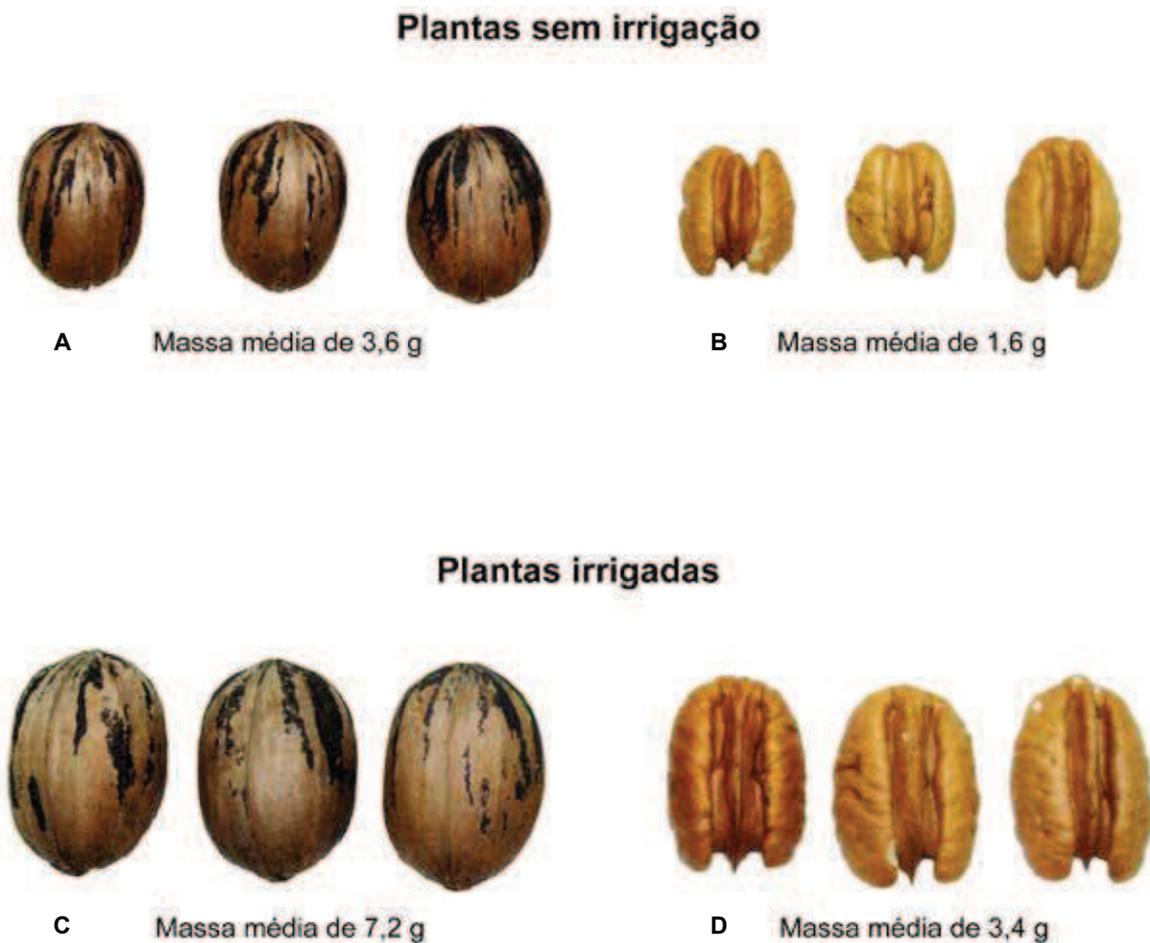
Água insuficiente durante todo o período de desenvolvimento e crescimento das nozes pode causar abortamento de frutos (Figura 1A). Quando o estresse hídrico ocorrer da floração até o endurecimento da casca (outubro-fevereiro), resultará em nozes pequenas, pois nesse período ocorre o crescimento padrão de cada cultivar (Figura 1B). A falta de água durante o estágio de enchimento da amêndoa (fevereiro-março) pode causar frutos chochos ou mal preenchidos (Figura 1C). No final de março até maio (dependendo do cultivar e região de cultivo), durante o amadurecimento das nozes, o déficit hídrico pode fazer com que as cápsulas (epicarpo) permaneçam fechadas, dificultando a colheita das nozes (Figura 1D).



Fotos: Rudinei De Marco

Figura 1. Efeitos do deficit hídrico no desenvolvimento dos frutos de noqueira-pecã: abortamento (A); diferentes dimensões de frutos da cultivar Barton (B), em pomar sem irrigação (a) e com irrigação (b); amêndoa mal preenchida (C); cápsulas parcialmente fechadas (D).

Em estudo realizado por De Marco (2020), no Uruguai, comprovou-se que a irrigação melhorou significativamente a produção de nozes naquela região, com obtenção de frutos de maior tamanho e de melhor qualidade, além de possibilitar rendimento da amêndoa superior a 100%, quando comparado a frutos de plantas não irrigadas (Figura 2). Embora o cultivo no Sul do Brasil e Uruguai não esteja em uma região com estação seca definida, frequentemente ocorrem períodos com baixas precipitações, as quais causam redução nas dimensões dos frutos e, conseqüentemente, perdas significativas de produção, que podem ser evitadas ou reduzidas com a utilização de irrigação.



Fotos: Rudinei De Marco

Figura 2. Aparência e massa média de frutos de noqueira-pecã, produzidos em plantas com e sem irrigação. Frutos de plantas não irrigadas, com casca (A) e sem casca (B); e frutos com casca (C) e sem casca (D) de plantas irrigadas.

Os danos e/ou perdas são evidentes em casos de estresse hídrico em plantas em produção, mas isso não significa que a irrigação deve ser usada somente em pomares adultos. Embora o consumo de água de uma planta juvenil (ainda sem produção) seja menor, a irrigação deve ser utilizada desde o momento da implantação do pomar, uma vez que déficits hídricos após o plantio aumentam as chances de mortalidade das plantas (Figura 3A), como também redução (em tamanho) dos órgãos responsáveis pelo desenvolvimento vegetativo. Na Figura 3B, é possível observar redução do desenvolvimento do broto, em que a distância entre duas folhas/gemas (entrenós) é reduzida devido a um período de déficit hídrico. Assim, quando a umidade do solo providenciada pela chuva não for suficiente para atender as necessidades hídricas da cultura, a irrigação suplementar deve ser usada, desde o momento da implantação, de forma a obter melhor desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, plantas melhor formadas e com estrutura vegetativa maior. Isso pode favorecer a produção antecipada (a partir do terceiro ou quarto ano da implantação) e, conseqüentemente, retorno financeiro dos custos de implantação de forma mais rápida.



Fotos: Rudinei De Marco

Figura 3. Conseqüência do déficit hídrico em plantas de noqueira-pecã: planta jovem morta (A) e redução do comprimento de entrenós (B).

Mesmo que a exigência hídrica se modifique com a idade da planta, estágio fenológico, condições climáticas, entre outros fatores, a noqueira é muito exigente em água, tanto no período de crescimento vegetativo como no período reprodutivo. Para alcançar um equilíbrio entre a biomassa da parte aérea e frutos, a noqueira consome mais de 100 mm por mês, entre os meses de novembro a fevereiro (Figura 4), que são os períodos considerados críticos à produção. Pode-se observar que, para o Sul do Brasil, de condições subtropicais úmidas, a exigência hídrica é superior a 160 mm em dezembro e janeiro, resultando num consumo diário médio superior a 5 mm. No período da dormência, o consumo de água é mínimo. Entretanto, mesmo que esse período não represente consumo de água propriamente, em lugares secos e áridos, a ausência da irrigação nesse período pode causar a mortalidade de raízes. No período entre o crescimento vegetativo e o final da frutificação (setembro a abril), a resposta da noqueira-pecã à água é quadrática, incrementando à medida que

as condições meteorológicas se tornam mais severas, com aumento da incidência diária de radiação solar, da temperatura do ar, menor umidade relativa e mais ventos. Quando associados à falta de precipitações pluviais, o requerimento hídrico da noqueira-pecã aumenta, devido ao aumento da demanda evaporativa da atmosfera.

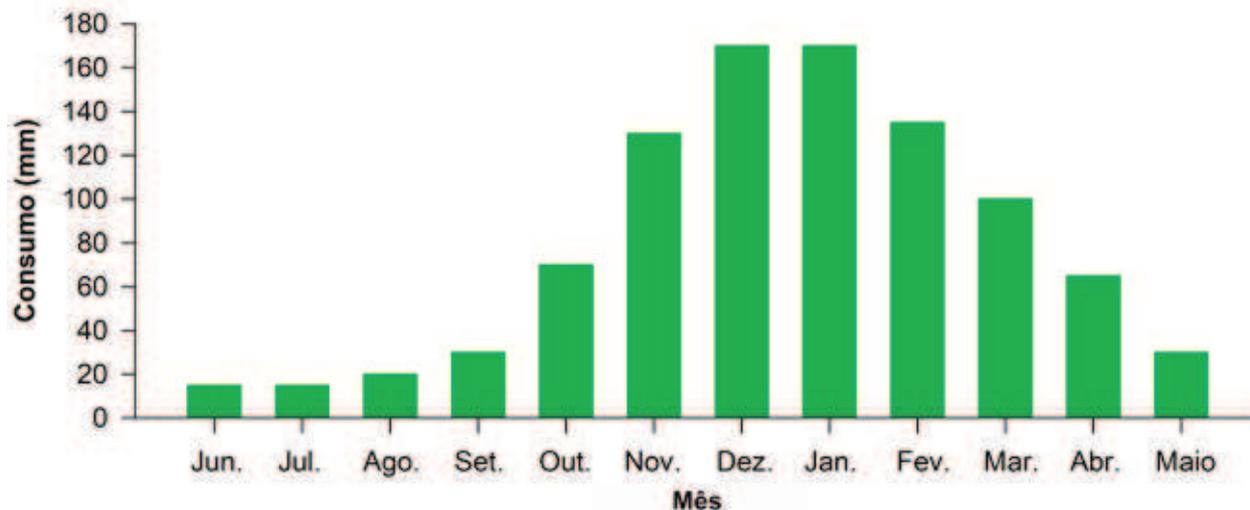


Figura 4. Médias mensais do consumo de água da noqueira-pecã para o Sul do Brasil, com destaque para períodos de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, entre setembro e abril.

Fonte: autores

O estresse hídrico, além de causar os problemas já relatados durante o ciclo anual, também traz danos a longo prazo, podendo afetar a produção por dois ou mais anos subsequentes e influenciar a alternância de produção. Isso ocorre porque a frutificação da noqueira-pecã ocorre em função das condições existentes no ano anterior, ou seja, as flores pistiladas (femininas) são produzidas a partir de reservas acumuladas durante o ciclo de crescimento do ano anterior (Lockwood; Sparks, 1978). Assim, a produção para o ciclo de crescimento atual é determinada no momento da brotação, mas em função direta das condições de crescimento do ciclo anterior. Na prática, a estiagem que ocorre durante a fase de frutificação e amadurecimento da fruta, além da significativa redução na produção, influencia negativamente a produção nos próximos ciclos em pomares não irrigados.

Demanda hídrica da noqueira-pecã

O uso consuntivo de água da noqueira-pecã é elevado durante todo o ciclo (Sammis et al., 2004; Wang et al., 2007), sendo que o consumo de água é uma combinação entre as perdas de água por evaporação (E_s) e através da transpiração (T_c), via estômatos. Ambos ocorrem simultaneamente e representam o requerimento hídrico ou a evapotranspiração da cultura (ET_c). Enquanto a primeira (E_s) é considerada uma água perdida ou não associada à produção de biomassa (Yimam et al., 2015), a T_c é o elemento desejado, por estar diretamente relacionado ao aumento da produtividade (Kool et al., 2014). A medição separada dos dois componentes é o grande desafio de técnicos, agrônomos e cientistas, pois é a chave para a melhoria dos sistemas de produção, sobretudo os irrigados, uma vez que está relacionada à eficiência de uso da água (WUE, em inglês) ou da produtividade da água (WP, em inglês).

Nos sistemas de produção atuais, a estimativa acurada da ET_c é fundamental para dimensionar os sistemas de irrigação, realizar a programação da irrigação e calcular o rendimento das culturas (Allen et al., 1998). Dessa forma, um melhor entendimento dos componentes da ET_c possibilitará melhorar os sistemas de irrigação, ao mesmo tempo em que elevará a quantidade produzida em razão da água consumida. A ET_c é o principal componente de saída do balanço hídrico do solo, sendo dependente da disponibilidade de água no solo, do estágio da cultura e da demanda evaporativa da atmosfera.

A magnitude da E_s é maior em culturas esparsas (baixa densidade de plantas por área), em áreas muito secas e/ou úmidas e com alta demanda evaporativa da atmosfera. Em um pomar de noqueira-pecã, a E_s pode representar entre 30%-80% da ET_c , devido à considerável superfície exposta (Kool et al., 2014). A maior E_s , nesses casos, é devida à combinação de solos úmidos pela chuva ou irrigação e demanda evaporativa da atmosfera, sendo que essa última é ocasionada pelos fatores meteorológicos, como radiação solar, umidade relativa do ar, temperatura e velocidade do vento. A T_c é o componente desejável, pois quanto maior a transpiração, maior será a produção (Agam et al., 2012).

Quantificar o requerimento hídrico das culturas de forma mais exata implica melhorar as metodologias existentes e procurar alternativas que sejam mais precisas (Carlesso et al., 2009). A solução mais lógica para minimizar o uso de água e realizar uma gestão da irrigação mais ajustada é ampliar o conhecimento a respeito da ET_c , o que implica necessariamente a obtenção de coeficientes de cultura (K_c) mais precisos. A demanda hídrica pode ser descrita como a quantidade de água que a cultura necessita para alcançar rendimentos ótimos ou potenciais. Assim, o uso da irrigação nos pomares deve ser programado (frequência de irrigação e lâmina de água aplicada), por meio do conhecimento da exigência da cultura, das condições de solo e clima, de forma a evitar o estresse nas plantas, ao mesmo tempo em que seja mantida a produção ideal.

De acordo com Sierra et al. (2001), a cultura possui necessidade de lâmina de água mínima anual de 750 mm e máxima de 2.000 mm. Pesquisa realizada no Arizona (EUA) por Call et al. (2006) aponta que uma planta adulta necessita cerca de 129 mil litros de água durante um ciclo anual, para produzir entre 18 kg a 22 kg por árvore; isso equivale a mais de 5 mil litros por quilograma de fruto. No entanto, as condições edafoclimáticas do Arizona são diferentes daquelas encontradas na América do Sul, que devem ser melhor estudadas.

De uma maneira geral, plantas adultas de noqueira-pecã consomem 4 mm por dia, o que equivale a 40 m³ por hectare por dia. Claramente, essa necessidade hídrica é maior durante o período de crescimento vegetativo e frutificação, podendo chegar a 8 mm/dia entre os meses de dezembro e fevereiro. Na região Sul do Brasil, boa parte do requerimento hídrico da noqueira-pecã é compensado pelas precipitações pluviais, conforme apresentado na Figura 5. Entretanto, a distribuição irregular das precipitações pluviais muitas vezes causa déficit hídrico em culturas anuais e perenes (Bergamaschi et al., 2007), fazendo com que irrigações suplementares sejam necessárias para manter o nível de produção das culturas.

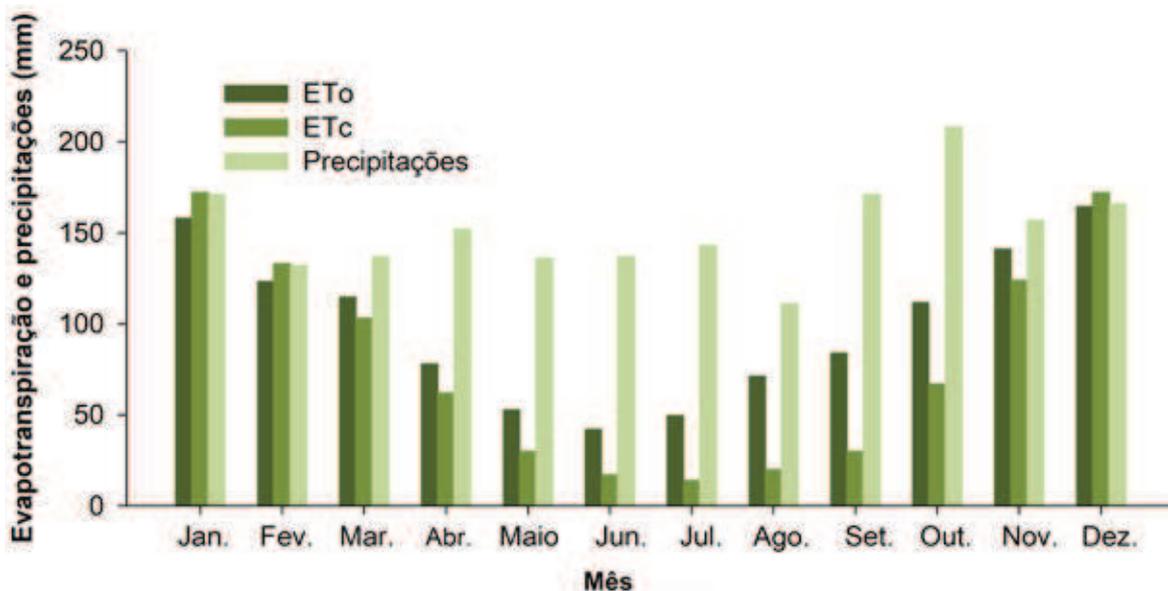


Figura 5. Valores médios mensais da evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_c) e precipitações no município de Santa Maria, RS, entre 2007 e 2022.

Os dados médios mensais de chuva pra Santa Maria, no período entre 1969-2005, são de 142 mm (Martins et al., 2013), enquanto para o período entre 2007-2022, usado neste trabalho, observou-se pequeno aumento nesse índice (155 mm). Grande parte desse aumento se deve às chuvas ocorridas no mês de outubro de 2015, 2016 e 2019, as quais foram superiores a 400 milímetros mensais nesses anos. Observando-se os dados mensais da evapotranspiração da cultura (ET_c), calculados a partir da demanda evaporativa da atmosfera ou evapotranspiração de referência (ET_o), associados aos coeficientes de cultura (K_c) para as diferentes fases da noqueira-pecã (a curva do K_c é apresentada na seção 3.3 deste capítulo), e às precipitações, percebe-se que apenas no mês de janeiro a ET_c supera a média mensal de chuvas. Entretanto, irrigações são muitas vezes requeridas nesse período, pois as chuvas são mal distribuídas, fato que causa excessivo secamento do solo na região de distribuição das raízes da noqueira-pecã, afetando a quantidade e qualidade dos frutos.

Manejo da irrigação

• Quando irrigar

O clima do Sul do Brasil é subtropical úmido, tipo “Cfa”, sem estação seca definida, com verões quentes e volume total anual de chuva superior a 1.500 mm, na maioria das regiões (Kottek et al., 2006). No entanto, a distribuição irregular das precipitações pluviais faz com que irrigações suplementares sejam frequentemente requeridas, especialmente nos estádios mais críticos da cultura da noqueira-pecã.

O fornecimento suplementar de água via irrigação é necessário, uma vez que a cultura demanda grande quantidade de água. Mas como determinar a demanda hídrica de cada pomar? A resposta a essa pergunta é dada pela avaliação do requerimento hídrico da cultura, que pode ser feito por meio do monitoramento do conteúdo de água no solo, mediante a medição de parâmetros da planta, das informações meteorológicas, do sensoriamento remoto e/ou a combinação de dois ou mais métodos.

Face às incertezas na distribuição e no total de precipitações pluviais durante o ciclo de desenvolvimento da noqueira-pecã no Sul do Brasil, a adoção de uma adequada programação de irrigação torna-se necessária, como forma de manter a lucratividade da atividade com a cultura. Uma ampla gama de novas abordagens sobre manejo de irrigação está sendo proposta, entretanto, a adoção dessas tecnologias depende de uma série de fatores, como custos, eficiência do método usado, formação do produtor ou equipe que irá manejar essas tecnologias, bem como os sistemas de irrigação adotados. O que não se pode conceber, contudo, é que um produtor de noqueira-pecã faça um investimento num sistema de irrigação e que o use intuitivamente, ou seja, que a decisão de quando irrigar ou a quantidade de água a ser aplicada seja feita de forma sensível. É necessário, portanto, transferir o conhecimento de como manejar as ferramentas de manejo de irrigação ao produtor, para que a programação de irrigação em cada área seja adequadamente conhecida.

É senso comum que a decisão de quando e quanto irrigar a noqueira-pecã depende do estágio de desenvolvimento, da idade de planta, do solo e sua capacidade de armazenamento, da capacidade do solo em disponibilizar a água às plantas, da interação solo-planta, sobretudo do sistema radicular e das condições meteorológicas. Consequentemente, os métodos usados para programar as irrigações são baseados no monitoramento do solo, da planta, das condições meteorológicas ou da combinação desses itens.

O monitoramento da umidade do solo tem sido cada vez mais importante para o manejo da irrigação, por possibilitar um controle sobre a lâmina de água aplicada, reduzindo gastos com água, energia elétrica e mão de obra. A medição do status de água no solo (medida do conteúdo de água ou do potencial de água) é, de acordo com Irmak et al. (2014), essencial na agricultura, visando pesquisar e desenvolver novas rotinas de monitoramento em nível de propriedade, estabelecer limites de umidade, a partir dos quais a planta é sensibilizada pelo estresse, e auxiliar o produtor na tomada de decisão quanto ao momento de irrigar.

Embora não se tenham registros, a decisão de iniciar uma irrigação com base na umidade do solo provavelmente seja tão antiga quanto os sistemas de irrigação, haja vista que o produtor muitas vezes ainda usa o “tato” para decidir se o solo está úmido ou não. Novos métodos de medição da umidade do solo surgiram para funcionarem como orientação para irrigantes, na tomada de decisão quanto ao momento de irrigar. Entretanto, de acordo com Campbell e Campbell (1982), muitos desses métodos são difíceis de serem usados pelo produtor, pela dificuldade de interpretação dos dados, pelo preço ou pela insuficiente acurácia para satisfazer as necessidades de indicação de quando e quanto irrigar.

Sensores com alto grau de precisão e confiabilidade podem ser utilizados para medições da umidade do solo em tempo real (Jabro et al., 2020) ou de forma pontual, conectando-se computadores ou tablets a um sistema de aquisição e armazenamento de dados. Estudos com a noqueira-pecã mostram que há considerável economia de água, quando o manejo da irrigação for baseado no monitoramento da umidade do solo (Ganjegunte et al., 2012). Sensores de baixo custo são inovações recentes no monitoramento da irrigação, podendo ser baseados no conteúdo volumétrico de água no solo (θ , cm^3/cm^3) (Ferrarezi et al., 2020) ou no potencial de água no solo (Ψ_m) (Jabro et al., 2020). Os primeiros estimam a umidade no solo baseados na medida da constante dielétrica de água no solo, em resposta ao seu conteúdo de água, resultando na medida da umidade do solo em volume, como é o caso dos equipamentos 10HS e CS616 (Figura 6). Nesse caso, as equações calibradas pelos fabricantes transformam os valores brutos dados pelo sensor em conteúdo volumétrico de água no solo (Ferrarezi et al., 2020). Por outro lado, os sensores baseados na medida do potencial de água no solo medem a energia de retenção de água no solo (Figura 6).

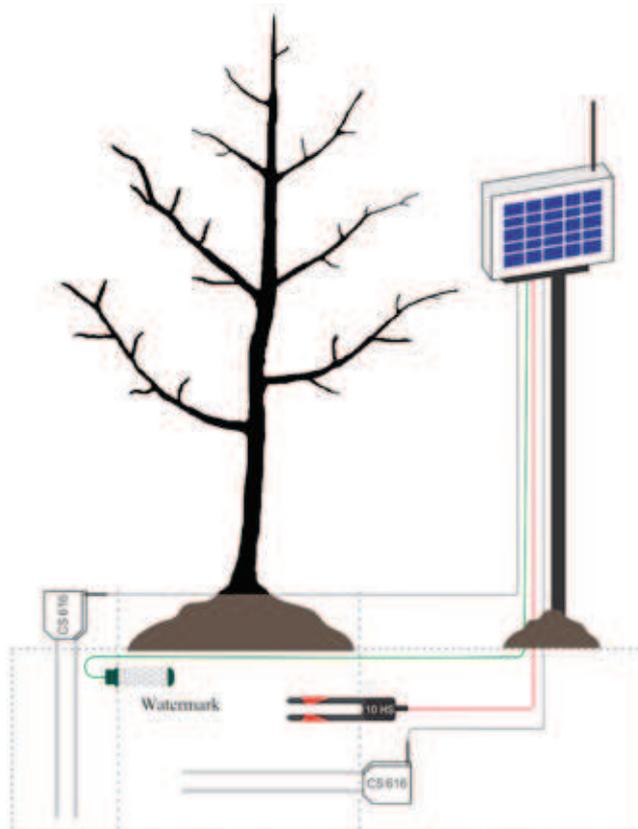


Figura 6. Representação gráfica da utilização de sensores de medição do potencial de água no solo: matriz granular Watermark® modelo 200SS e medidores da constante dielétrica do conteúdo de água (CS616 e 10 HS).

Ilustração: Mirta Teresinha Petry.

No caso da medida do potencial de água no solo, os sensores são dotados de uma cápsula de gesso, a qual é inserida no solo nas profundidades desejadas (na vertical ou em posição horizontal). Os sensores tipo Watermark® (modelo 200SS) (Irrometer Co.) (Figura 6), são chamados de sensores de resistência elétrica, pois apresentam dois eletrodos inseridos na cápsula. O sensor detecta a variação da umidade ao seu redor, a qual é inversamente proporcional à resistência elétrica, ou seja, a resistência entre os dois eletrodos aumenta conforme a diminuição da umidade do solo. O princípio de funcionamento da cápsula de um tensiômetro é semelhante, porém, nesse caso, a diminuição da umidade do solo é medida por um manômetro (de vácuo ou digital), que detecta a tensão da água no solo.

Quando se utilizam sensores capacitivos, como o sensor FDR, modelo CS616 (Campbell Sci.) ou o modelo 10 HS (Meter Group, Inc.) para a medida da umidade do solo, tem-se diretamente o valor da umidade em volume (volume de água por volume de solo). Independentemente do sensor que esteja sendo usado, é necessário conhecer o solo que se deseja irrigar, bem como suas características físico-hídricas, especialmente a água disponível (AD). Para os sensores que medem o potencial de água no solo, o conhecimento da curva de retenção de água no solo é fundamental, para que se possa facilmente associar o potencial medido com o conteúdo de água correspondente àquele potencial. Na Figura 7 são apresentadas curvas de retenção características de três diferentes texturas de solo, desde a umidade de saturação até a umidade no ponto de murcha permanente.

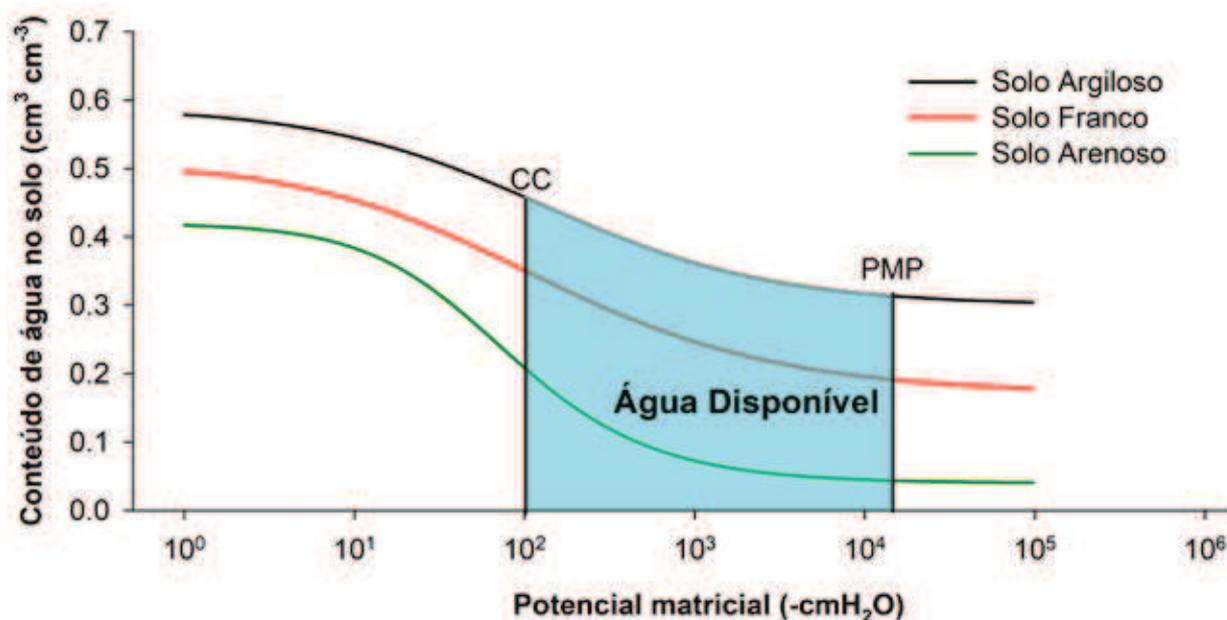


Figura 7. Curvas de retenção de água para solos de textura argilosa, franca e arenosa, da umidade de saturação ao ponto de murcha permanente. A umidade entre a capacidade de campo ($\theta_{-100 \text{ cm}}$) e o ponto de murcha permanente ($\theta_{-15.000 \text{ cm}}$) corresponde à água disponível (área em azul), para as três classes de textura de solo, em que CC significa a capacidade de campo, e PMP de murcha permanente. Dados obtidos do banco de dados do Sistema Irriga®.

• Quanto e quando irrigar

A decisão de quanto irrigar e quanta água aplicar, decorre do monitoramento da umidade do solo e depende da definição de vários fatores, como o total de água disponível no solo na profundidade efetiva do sistema radicular das plantas e da fração de água facilmente disponível. O total de água disponível (TAD) é calculado conforme a equação 1 (Figura 7):

$$TAD = 1000 (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) Z_r$$

Onde: TAD é o total de água disponível (mm), θ_{CC} é o conteúdo de água na capacidade de campo (m^3/m^3), θ_{PMP} é o conteúdo de água no ponto de murcha permanente (m^3/m^3) e Z_r é a profundidade efetiva do sistema radicular (m).

Na Figura 8 é apresentado um esquema da lâmina total de água disponível (TAD) de um solo franco, considerando-se 1 m de perfil. A água disponível (AD) corresponde à lâmina armazenada entre a capacidade de campo e o ponto de murcha, entretanto, para a maioria das culturas, o melhor crescimento e rendimento ocorre quando o conteúdo de água permanece na faixa superior do TAD, chamada de água prontamente disponível ou depleção de água permitida, que está denominada de CAD ($CAD = TAD \cdot p$). A CAD é calculada a partir do TAD e de um fator p , que indica um provável início de estresse, quando a lâmina de água que saiu do sistema for maior que o limite estabelecido para cada cultura. O valor de p é próximo de 0.50 para a noqueira-pecã, ou seja, o limite para o início da ocorrência de estresse nas plantas seria quando 50% do TAD tiver sido esgotado (Allen et al., 1998).

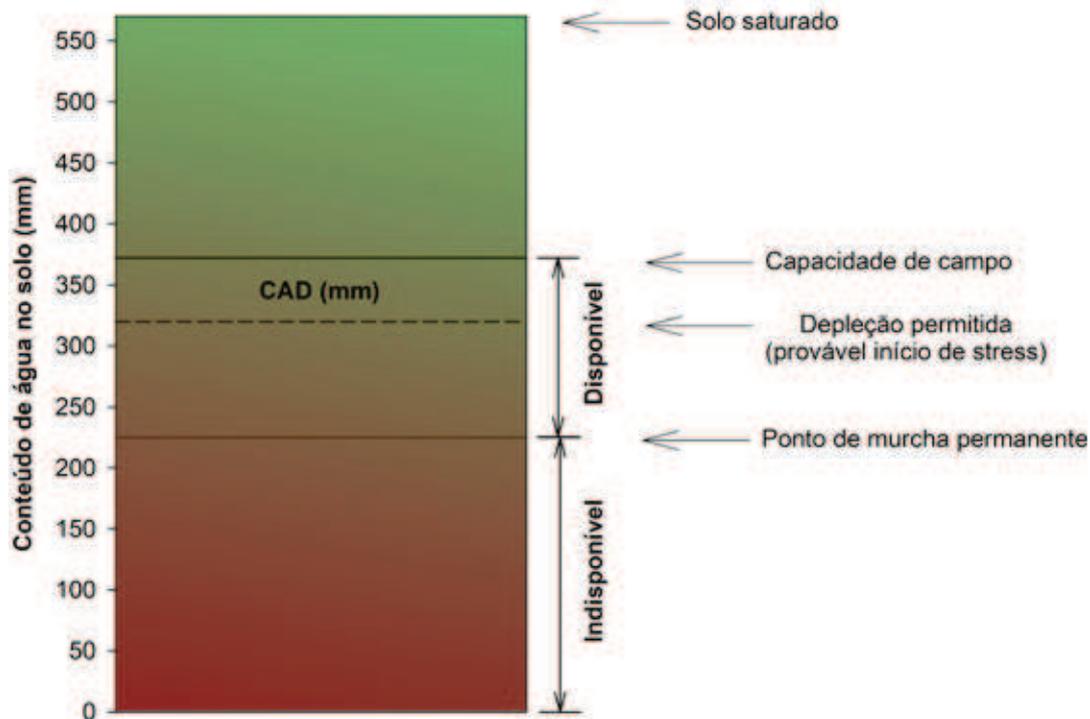


Figura 8. Total de água disponível em um perfil de solo homogêneo, de 1 m de profundidade, incluindo a umidade de saturação, a lâmina de água na capacidade de campo e ponto de murcha permanente e a depleção permitida para que não ocorra estresse nas plantas (CAD), considerando-se um p de 30%. Dados obtidos no banco de dados do Sistema Irriga®.

O valor de p de 50% do total de água disponível assume que o perfil do solo seja homogêneo e que as raízes das plantas ocupem o máximo volume de solo, até máxima profundidade possível. Embora a noqueira-pecã desenvolva uma agressiva raiz pivotante, a qual apresenta um eixo praticamente vertical, podendo alcançar 3 m de profundidade, a absorção de água e nutrientes é providenciada pela ramificação de raízes e radículas a partir da raiz principal, em extensão lateral que pode alcançar o dobro ou mais do diâmetro da copa (Figura 9).

Pergunta-se: por que a irrigação na noqueira-pecã deve iniciar antes que a AD no solo atinja os 50-60%? A resposta a essa pergunta está relacionada à distribuição do sistema radicular; mais de 80% do sistema radicular está situado nos primeiros 50 cm do solo. Portanto, para a irrigação da noqueira-pecã no Sul do Brasil, é recomendado que se use valor de p menor que o preconizado pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), de forma a evitar o esgotamento da água facilmente disponível no solo e início de estresse, o que afetaria o crescimento e produtividade da cultura. A presença de maior volume de raízes próximo da superfície ocorre em função do clima, com elevado regime de chuvas, fazendo com que as plantas não sejam forçadas a desenvolver raízes em profundidade.

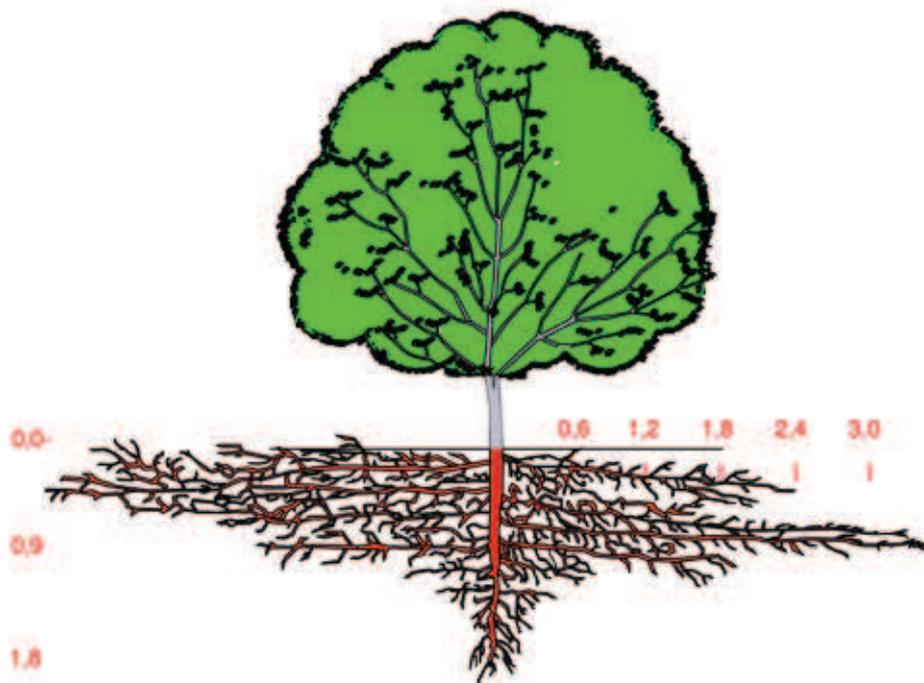


Figura 9. Representação gráfica da distribuição do sistema radicular (em metros) de uma planta de noqueira-pecã com seis anos segundo dados de Woodroof e Woodroof (1934).

Ilustração: Mirta Teresinha Petry.

Conforme já discutido anteriormente, uma árvore de noqueira-pecã possui sistema radicular pivotante, com um eixo principal bem desenvolvido, que facilmente ultrapassa vários metros de profundidade, da qual saem raízes laterais que podem alcançar uma extensão de duas vezes a largura da copa da árvore. A maioria das raízes absorventes (as radicelas – raízes ativamente envolvidas na absorção de água e minerais) possuem associação micorrízica e estão distribuídas próximo à superfície do solo (Figura 9) (Woodroof; Woodroof, 1934). Nesse contexto, Wells (2017), relata que a água tem que estar disponível aproximadamente nos primeiros 80 cm do perfil do solo, ponto esse que deve ser considerado na programação de irrigação. Além disso, a distribuição lateral também deve ser considerada, principalmente na definição dos espaçamentos a serem utilizados no pomar, de forma que o sistema de irrigação a ser adotado tenha eficiência de aplicação satisfatória.

Assim, levando-se em consideração os critérios do TAD e CAD estabelecidos para que não haja estresse e redução no crescimento e produção, o critério para definir quando iniciar uma irrigação, quando se usam sensores de umidade tipo Watermark®, deve seguir a orientação apresentada na Figura 10. Nesse caso, as irrigações são engatilhadas quando o potencial de água medido no campo (em kPa) alcança o limite crítico estabelecido para esse solo (entre a linha vermelha contínua e a pontilhada).

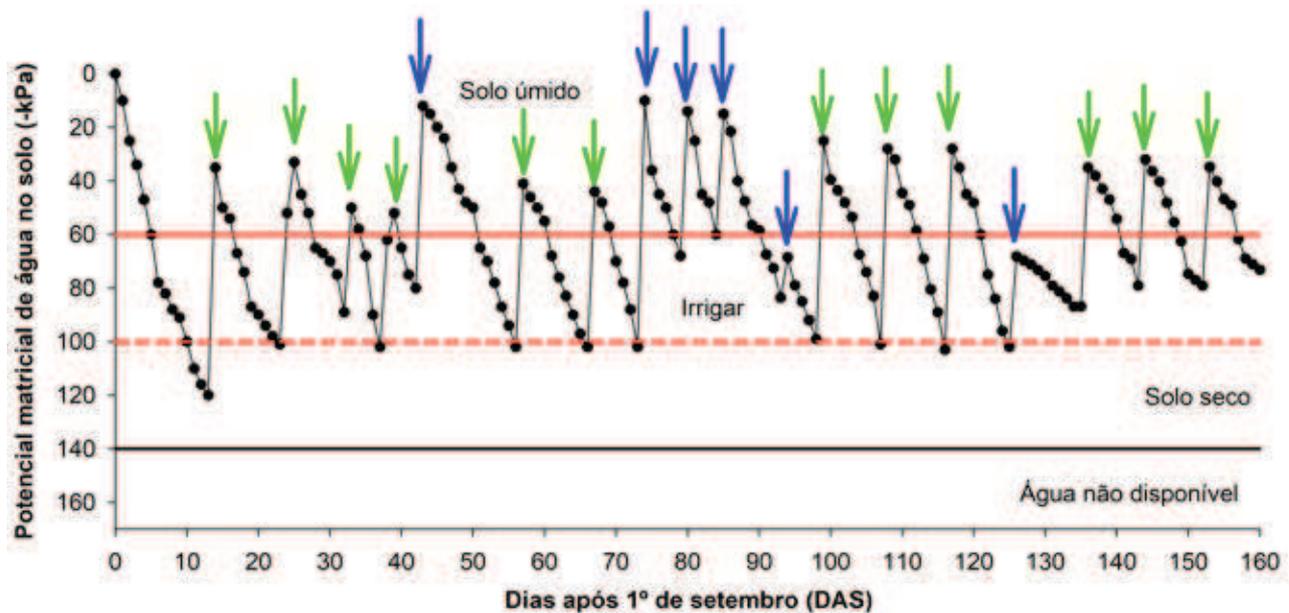


Figura 10. Valores médios do potencial matricial de água no solo durante uma estação de cultivo de noqueira-pecã usando sensores watermark, instalados a 20 cm, 40 cm e 70 cm de profundidade, em área irrigada por gotejamento no Chile. Setas verdes indicam irrigações e as setas em azul representam as precipitações pluviais. O intervalo destacado em cor em azul-claro indica o momento de irrigar. Dados obtidos no banco de dados do Sistema Irriga®.

As lâminas de irrigação, aplicadas após se atingir o limite crítico estabelecido, elevam a umidade do solo para valores próximos ou levemente acima da umidade na capacidade de campo. Esse manejo é adotado para possibilitar o máximo da eficiência de uso da água, pois a água aplicada em excesso (no caso, para além da capacidade de campo) não é retida ou armazenada no solo, sendo, portanto, desperdiçada, pois essa água percola para fora da região do sistema radicular. A chuva (indicada nas setas em azul) tem a função de elevar a umidade do solo ou “encher a caixa”, expressão comum na irrigação.

Independentemente de qual sensor de medição da umidade usado (medida da umidade volumétrica ou do potencial), o manejo da irrigação deve ser baseado nos mesmos critérios apresentados na Figura 10, ou seja, os limites de disponibilidade de água devem ser estabelecidos para cada tipo de solo.

A medição da variação do conteúdo de água no solo fornece bases sólidas para avaliar a capacidade do solo em atender a demanda hídrica da cultura. Contudo, vários pesquisadores (Jones, 2004, Liu; Sheng, 2013) têm alertado para o uso isolado de sensores para o manejo da irrigação, pela dificuldade de se entender a dinâmica da água no solo, e a quantidade de água e a máxima profundidade em que uma árvore de noqueira-pecã pode extrair água. Além disso, a falta de contato entre o solo e o sensor pode resultar em falhas nas leituras, levando a erros nas medições de umidade.

• Manejo da irrigação com base na planta

A resposta da planta à irrigação é uma função do estado hídrico da planta, o qual é influenciado pelo conteúdo de água no solo e pela habilidade do solo em fornecer água às plantas, em resposta ao ambiente ao qual estão expostas. Embora a medição do status hídrico da planta seja o critério mais eficaz para engatilhar as irrigações (Fernandez; Cuevas, 2010), seu uso muitas vezes é limitado, devido ao elevado valor dos instrumentos de medida e ausência de limites críticos que definam o momento de irrigar (Jones, 2004). Assim, a programação da irrigação com base nas medições do conteúdo e/ou do potencial de água no solo ou parâmetros meteorológicos é muitas vezes utilizada (Alghory; Yazar, 2019).

Indicações da planta que podem ser usadas para avaliar a necessidade de irrigação são: o crescimento e desenvolvimento de folhas e ramos, o potencial de água no caule e nas folhas e a condutância estomática (Jones, 2004). O potencial de água nas folhas é considerado um indicador do déficit hídrico, pois, à medida que a umidade do solo decresce, o status hídrico das folhas diminui, movido por um aumento da transpiração das plantas, associado à alta demanda evaporativa da atmosfera (Akkuzu et al., 2010). Entretanto, os limites do status de água nas plantas que indicam estresse a ponto de causar redução na produção de biomassa ou grãos não são devidamente conhecidos (Payero; Irmak, 2006). Os fatores que desencadeiam o início do estresse nas plantas podem estar relacionados a uma redução na umidade do solo, a uma elevada demanda evaporativa da atmosfera, à combinação de ambos os fatores, podendo também ter relação com a baixa eficiência dos sistemas de irrigação.

Essas metodologias apresentam limitações para o manejo de irrigação, destacando-se o uso de medidas que não podem ser automatizadas porque resultam de processos trabalhosos e descontínuos. Além disso, muitas medidas do potencial de água na folha são destrutivas, nas quais pequenas amostras são coletadas e levadas ao laboratório para a medição do status de água nas folhas, usando-se o potenciômetro do ponto de orvalho. As amostras devem ser retiradas ao longo de um dia, desde o amanhecer até as horas mais quentes do dia, pois os dados podem ser equivocados se a única amostragem for nas horas mais quentes do dia.

Equipamentos portáteis, como o porômetro e o analisador de gás, conhecido como *Infra-Red Gas Analyser* (IRGA) são utilizados para medir simultaneamente a condutância estomática e o potencial de água nas folhas. Recentemente, métodos baseados nas medições da temperatura da folha usando termômetros infravermelhos têm sido utilizados para medir a ocorrência de estresse em plantas de elevado valor comercial, como a noqueira-pecã, oliveira e videiras. A temperatura da folha é reconhecida como um indicador de déficit; a temperatura da folha em plantas estressadas é entre 2-4 °C acima da temperatura de uma planta bem irrigada. A elevação da temperatura resulta do fechamento parcial ou total dos estômatos, porque a transpiração serve como um sistema de arrefecimento da planta. Assim, configura-se o estresse.

A indicação de quando irrigar, nesse caso, é dada por um índice de estresse (IS), que deve ser quantificado para cada cultura e tipo de solo. O IS, definido por Idso et al. (1981) é calculado pela diferença entre a temperatura do dossel e do ar ($T_d - T_a$, °C), respectivamente, ou seja, como sendo uma função do déficit de pressão de vapor de água na atmosfera. A temperatura pode ser medida por termômetros infravermelhos portáteis, tipo *handheld*, para leituras pontuais, ou então fixos dentro do dossel, de forma a monitorar continuamente a temperatura do dossel, desde o amanhecer até o final do dia.

Espectro-radiômetros de infravermelho próximo, também do tipo *handheld* ou então posicionados de forma a escanear linhas de plantas durante o dia, também podem ser utilizados para indicar déficit nas plantas. Esse tipo de sensor mede a reflectância da cultura, na faixa do visível e infravermelho próximo (Pôças et al., 2015), podendo ser acoplado a um satélite ou a um veículo aéreo não tripulado (VANT) (Zarco-Tejada et al., 2013). Os dados da reflectância obtidos da faixa do visível refletem as respostas fisiológicas das plantas, incluindo condutância estomática, que é um bom indicativo do status de água na planta. Nesse caso, a necessidade de irrigação é definida pelo potencial de água na folha ao amanhecer (Ψ_{pd}), pois esse indica a demanda hídrica da cultura. No trabalho de Pôças et al. (2015), os autores estimaram o Ψ_{pd} (Handheld 2, ASD Instruments, Boulder, CO, USA), comparando-o com os dados de Ψ_{pd} medidos através de uma câmara de pressão tipo Scholander (PMS 600, Albany, OR, USA), e observaram coeficientes de determinação de 0,79, entre os dados medidos pela câmara de pressão e o espectro-radiômetro portátil.

O manejo da irrigação através da medição do status de água nas plantas exige que sejam feitos estudos para identificar o momento crítico da aplicação de irrigação, sem ocorrência de redução no crescimento e desenvolvimento das plantas. Uma das principais dificuldades desse método é que existem diferenças varietais com relação à sensibilidade das plantas ao déficit hídrico. Além disso, plantas bem irrigadas podem apresentar

sintomas de deficiência nas horas mais quentes do dia, por ocasião da ocorrência de altas temperaturas, fazendo com que ocorra uma interpretação equivocada de que esteja ocorrendo deficiência hídrica no solo. Além disso, esse método apresenta baixa precisão e, principalmente, não informa a lâmina de irrigação a ser aplicada, somente o momento de acionar o sistema. Esse método, portanto, não é recomendado para situações visando obtenção de elevadas produtividades pelos agricultores.

• **Monitoramento das condições meteorológicas – método baseado na ET_c**

O correto gerenciamento de irrigação garante adequada umidade no solo durante o ciclo das culturas. Os critérios usados para programar as irrigações envolvem as medições da umidade do solo, condições meteorológicas e o status hídrico da planta, ou a combinação desses. Entretanto, as respostas das plantas ao fornecimento de água podem variar em função do estágio de desenvolvimento, da capacidade produtiva dos solos, da região de cultivo, bem como da eficiência dos métodos de irrigação empregados. À medida que a umidade do solo decresce, maior será o impacto das condições meteorológicas sobre o dossel vegetativo, podendo significar o início do estresse hídrico nas plantas, quando a reposição de água for insuficiente ou aplicada sem a eficiência desejada.

O método largamente usado para estimar o consumo de água (ou ET_c) implica a chamada metodologia de duas etapas (K_c-ET_o) (Pereira et al., 2015). Na aproximação K_c-ET_o, a evapotranspiração de referência (ET_o) representa o efeito primário das condições meteorológicas no consumo de água, enquanto o coeficiente de cultura (K_c) faz o balanço da influência específica das culturas na ET_c e sua variação ao longo do ciclo das culturas. Assim, valores-padrão de K_c para cada uma das quatro principais etapas do ciclo das culturas (Allen et al., 1998) foram providenciados para um grande número de culturas e larga escala de usos (Pereira et al., 2015), visando diminuir as super e subestimativas da ET_c.

No monitoramento das irrigações com o uso de dados meteorológicos, a ET_o (mm/dia) é estimada a partir de variáveis (radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e vento) medidas em estações meteorológicas automáticas. O Brasil conta com uma ampla rede de estações meteorológicas automáticas e convencionais, cujos dados são disponibilizados para download, de forma gratuita, pelo Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet). A metodologia FAO-56 Penman-Monteith é recomendada como método padrão de computação da ET_o, devido à alta probabilidade de estimativa correta, em uma ampla gama de locais e climas. Assim, a ET_o é multiplicada por um K_c para a estimativa diária da ET_c (Allen et al., 1998). Como a ET_o representa aproximadamente todos os aspectos de clima, o K_c varia predominantemente em função das especificidades da cultura, o que possibilita transferir valores e curvas de K_c para diferentes locais e climas (Allen et al., 2005). Assim, a ET_c é facilmente calculada conforme a expressão:

$$ET_c = ET_o \cdot K_c$$

Onde: ET_c é a evapotranspiração da cultura crescendo em condição de ótima disponibilidade de água; ET_o é a evapotranspiração da cultura de referência (mm dia⁻¹) e K_c é o coeficiente de cultura.

Recentemente, novas metodologias de estimativa da ET_c têm sido propostas, visando fracioná-la a mesma em evaporação do solo (E_s) e transpiração da cultura (T_c), uma vez que a água transpirada através dos estômatos é usada como indicativo da produção, enquanto a E_s é considerada a parte da água perdida ou ineficiente. A estimativa separada dos componentes E_s e T_c pode ser feita através de medidas diretas ou via modelos de simulação do balanço hídrico do solo, ambos significando um desafio à investigação para o futuro, como forma de melhorar as medidas da ET_c e, conseqüente, da gestão da água de irrigação.

A computação da ET_c pelo método do K_c simples, ainda é a forma mais usada em programas de manejo de irrigação, por incluir em um único coeficiente tanto a transpiração da cultura (T_c) como a evaporação do solo (E_s). Uma curva típica, quando não há estresse, envolve quatro fases distintas (Allen et al., 1998), conforme apresentado na Figura 11.

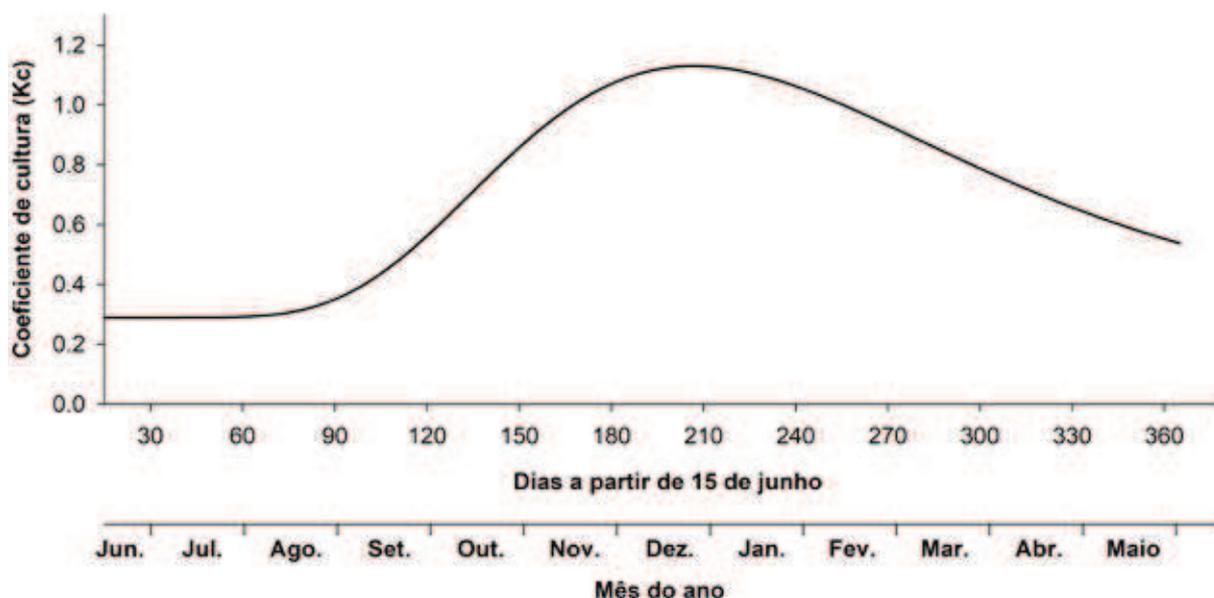


Figura 11. Curva do coeficiente de cultura para as diferentes fases do desenvolvimento da noqueira-pecã.

No cálculo da ET_c para programar irrigar, também se deve levar em consideração os limites de disponibilidade de água no solo mencionados acima no item sobre sistema de produção por raiz nua, ou seja, o TAD e o total da água facilmente disponível, definida em função do solo, do estágio de desenvolvimento e da sensibilidade das plantas ao déficit. Assim, através de um balanço hídrico diário, calcula-se a ET_c e, uma vez que a evapotranspiração acumulada da cultura (ET_{cA_c}) atinja o valor da água facilmente disponível no solo, há a necessidade de irrigar, conforme apresentado na Figura 12. O exemplo apresentado na Figura 12 retrata um balanço hídrico simplificado para Santa Maria, calculado a partir das entradas líquidas de água (chuva + irrigação) e saídas de água via ET_c diária de uma planta de noqueira-pecã adulta, calculada a partir da equação 2. O solo da região do campus da Universidade Federal de Santa Maria é classificado como um Argissolo Vermelho Distrófico Arênico (Streck et al., 2008), de textura superficial franca e um horizonte argiloso (Bt) a partir de 70 cm de profundidade. Consequentemente, assumiu-se que as raízes das plantas se concentram entre 0 a 70 cm do perfil. Assim, estabeleceu-se que as irrigações deveriam ser realizadas quando a evapotranspiração acumulada (ET_{cA_c}) da noqueira-pecã atingisse valores entre 30 mm e 40 mm. Na simulação, as lâminas líquidas de irrigação foram fixadas entre 18 mm a 20 mm, de forma a facilitar a operação do sistema e as chuvas, assim como os dados meteorológicos, foram coletados de uma estação meteorológica automática, localizada a 150 m da área experimental.

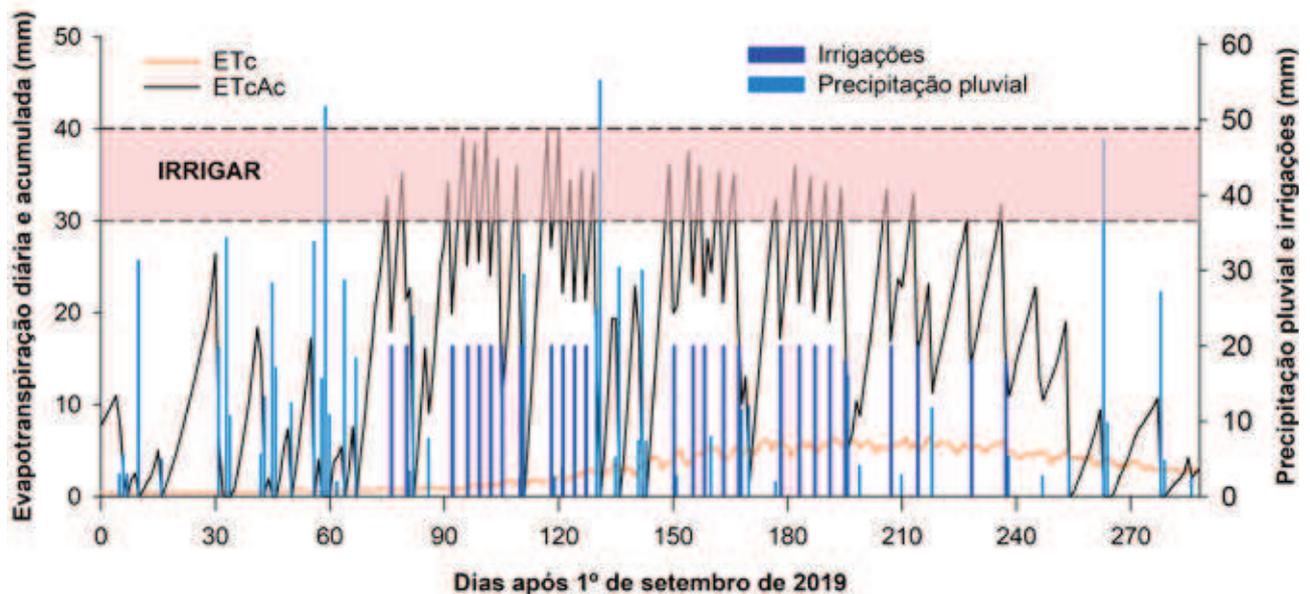


Figura 12. Simulação da necessidade de irrigação pelo balanço hídrico meteorológico, para plantas de noqueira-pecã adultas, no município de Santa Maria, RS, considerando a precipitação pluvial ocorrida no ano agrícola 2019/2020.

• Métodos combinados do manejo da irrigação

Existe uma série de metodologias que podem ser utilizadas em nível de produtor para indicar de forma adequada quando e quanto irrigar, para evitar o déficit hídrico ou o desperdício de água. Sensores de umidade do solo podem ser úteis para indicar o momento de irrigar, em tempo real ou próximo do real, entretanto, precisam ser acompanhados de um sistema de transmissão por telemetria ou chip *General Packet Radio Service* (GPRS), disponibilizados por operadores de telefonia celular, para que o usuário possa acompanhar a situação da umidade no solo do perfil, em tempo real ou quase real.

Ultimamente, o chamado balanço hídrico combinado tem sido utilizado visando melhorar o manejo da irrigação. O balanço hídrico combinado consiste em associar sensores de umidade do solo e dados meteorológicos para fazer o balanço hídrico do solo. Por esse método, alguns sensores de umidade do solo são utilizados e, concomitantemente, a evapotranspiração da cultura (ET_c) é calculada a partir da associação da $ET_o \cdot K_c$. Assim, o balanço hídrico é calculado estabelecendo o total de água disponível (TAD) e a água prontamente disponível (CAD) para cada solo. Posteriormente, calcula-se a ET_c diária ($ET_c = ET_o \cdot K_c$) e, mediante um procedimento simples, semelhante ao extrato de uma conta bancária, faz-se o balanço da água que entra no sistema (chuva + irrigação) e das saídas (ET_c), até que a CAD seja esgotada. Nesse caso, os sensores de umidade servem como um parâmetro de checagem, visando acarrear se, na prática, a estimativa da ET_c está refletindo o consumo de água pelas plantas, em cada estágio de desenvolvimento. Um esquema do balanço hídrico combinado é apresentado na Figura 13.

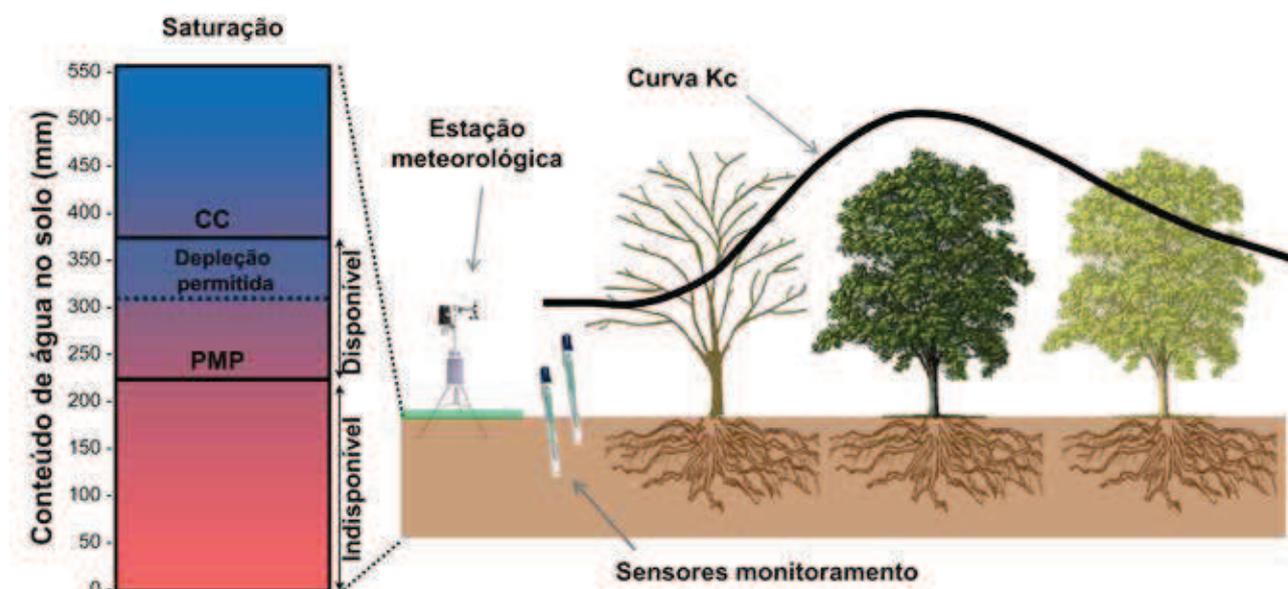


Figura 13. Representação gráfica de um balanço hídrico combinando sensores de umidade + evapotranspiração da cultura (ET_c) para a determinação do momento de irrigar o pomar de noqueira-pecã. A ET_c (estimada através da metodologia ET_o-K_c) e sensores de umidade tipo Watermark® são combinados para melhorar o gerenciamento da irrigação.

Ilustração: Juliano Dalcin Martins

Sistemas de irrigação

A agricultura e a pecuária são atividades que necessitam de volume considerável de água para produzir, e maneiras de melhorar a eficiência de uso, mediante o manejo da irrigação, são cada vez mais necessárias (Gu et al., 2020). Entende-se por adequado manejo de irrigação aquele que supre as necessidades hídricas da cultura durante todo o ciclo, de maneira integral ou suplementar.

Embora a irrigação por superfície ainda seja o mais comum dos métodos de irrigação, sendo responsável por aproximadamente 85% da área total irrigada (FAO, 2020), a irrigação por aspersão, principalmente por pivô central, tem crescido em larga escala, sobretudo nos países desenvolvidos, devido à facilidade de operação e automação, além de reduzido custo operacional. No Brasil, de acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2018), a área total irrigada é de aproximadamente 7 milhões de hectares, distribuídos entre os diferentes métodos: superfície (21%), aspersão (48%), localizada (24%) e demais métodos (7%).

Para a irrigação de culturas perenes, sobretudo árvores, a irrigação por aspersão representa uma série de desvantagens, principalmente pela dificuldade de operação, devido à altura de plantas adultas de noqueira-pecã. Recentemente, a irrigação localizada (gotejamento e microaspersão) tem sido largamente recomendada para irrigar culturas perenes, por possibilitar a aplicação próximo à planta, significando melhor aproveitamento da água, resultando em aumento de produtividade.

A escolha do sistema de irrigação depende de uma série de fatores, entre técnicos e econômicos. Como fatores técnicos, tem-se a disponibilidade de água de qualidade para irrigação, condições topográficas da área, características de solo (infiltração e capacidade de retenção de água), condições climáticas (precipitação/evapotranspiração), estágio fenológico da cultura, densidade de plantio, altura dos primeiros galhos e operações agrícolas. Por sua vez, para fatores econômicos, podemos considerar os custos iniciais, de operação e manutenção e a durabilidade do sistema.

Em princípio, todos os sistemas de irrigação se aplicam à irrigação da nogueira-pecã, entretanto, a escolha do sistema deverá atender aos fatores técnicos e econômicos, de forma a maximizar a eficiência e minimizar os custos de investimento e operação, ao mesmo tempo em que se mantêm as condições favoráveis ao desenvolvimento da cultura.

O sistema de irrigação deve atender as necessidades hídricas do pomar de nogueira-pecã, desde a sua implantação até a fase adulta. Portanto, alguns fatores devem ser considerados para a escolha do sistema de irrigação. O principal é o tipo de solo, no que diz respeito a sua capacidade de retenção de água e velocidade de infiltração básica (VIB). De acordo com Pereira e Trout (1999), para solos com alta VIB, o método que melhor se adapta é a aspersão; para solos com capacidade de infiltração baixa ou muito baixa, a irrigação por superfície é muitas vezes recomendada, em detrimento de outros. A irrigação localizada (gotejamento e microaspersão) tem a grande vantagem de ser aplicável a qualquer textura de solo ou declividade e poder ser adaptada para diversas condições de VIB.

Outro ponto importante é a população de plantas. Os pomares de nogueira-pecã são cultivados em espaçamentos e densidades de plantios variados, desde 25 a mais de 250 plantas por hectare, devendo-se ajustar o sistema de irrigação a essas características. A disponibilidade de água é um fator que deve ser considerado. Assim, se o local onde o pomar estiver instalado apresentar restrição de água e escassos recursos hídricos, a opção será utilizar sistemas de irrigação com maior eficiência de aplicação de água, especialmente métodos de irrigação localizada, descartando qualquer sistema de irrigação por superfície.

Os sistemas de irrigação também devem prever a realização de práticas e operações agrícolas; nesse sentido, o sistema de irrigação não deve interferir nessas operações. Por exemplo, sistema de irrigação que possam dificultar a operação de colheita, quando essa for mecanizada.

• Gotejamento

Na irrigação por gotejamento, a água é aplicada ao solo, próximo à região radicular, em pequenas intensidades, porém, com alta frequência, de modo a manter a umidade do solo na zona radicular próxima à capacidade de campo (Bernardo et al., 2011). A irrigação por gotejamento tem como característica principal a utilização de pequenas vazões a baixas pressões, sem umedecer o solo na totalidade (Yagüe, 1998). É um dos mais eficientes métodos no uso da água, pois é capaz de aproveitar entre 90% e 95% dos recursos hídricos. Suas vantagens não só vêm do ponto de vista do uso da água, mas também no uso de energia, requerendo apenas 1 bar a 3,5 bar como pressão de trabalho.

Por ser um sistema com maior eficiência, supõe menor consumo de água. No entanto, o projeto da instalação e a disposição dos gotejadores deve garantir o suprimento necessário e a homogeneidade na distribuição da água. Como parâmetro, o volume de solo a ser umedecido em uma irrigação localizada deve ser no mínimo 30% da superfície de projeção do dossel das árvores, que varia com a idade. Isso pressupõe que o número de emissores aumentará até a fase adulta da planta.

É importante, mencionar que, por vezes, mais de uma linha lateral com emissores pode ser utilizada para atender a demanda da planta. Para determinar o número exato de emissores por planta, um teste de infiltração deve ser realizado, permitindo testar espaçamentos diferentes entre os gotejadores na mesma linha e entre linhas. Esse fator dependerá também da vazão do gotejador. A vazão dos gotejadores pode variar de 1 a 4 litros/hora, a depender do número de gotejadores por planta e do comprimento da linha lateral. O número de gotejadores para uma planta adulta pode variar de 8 a 16 gotejadores, dependendo da vazão do gotejador

A utilização de mais de uma linha lateral possibilitará um desenvolvimento radicular mais amplo, principalmente em regiões de pouca precipitação. Assim, se permitirá aplicação de água em uma região maior, proporcionando, assim, maior contato com o sistema radicular. Da mesma forma, possuir muitas linhas laterais sobre o solo pode se tornar um problema durante a colheita, principalmente se for mecanizada. Em alguns casos, há a necessidade de mover as linhas laterais, para não danificá-las com a passagem da máquina. Embora essa medida exija um custo adicional, isso é compensado pelos benefícios gerados pela irrigação.

Durante o estabelecimento das árvores jovens, utiliza-se uma linha de gotejamento na superfície do solo. Com o aumento da demanda (árvores de 3 a 5 anos), instala-se uma segunda linha de gotejamento (de preferência, em subsuperfície), e a primeira linha de gotejamento permanece em sua posição. Essas linhas podem ser afastadas do tronco, à medida que a planta vai crescendo. Uma terceira e quarta linha de gotejamento podem ser adicionadas quando as árvores atingirem 10 anos (Figuras 14A, 14B, 14C e 14D).

Melhores resultados podem ser obtidos com as duas linhas laterais iniciais, pois isso oferece uma boa alternativa para crescimento inicial mais rápido. Destaca-se também que essas linhas de gotejadores podem ser enterradas, no entanto, isso exige constante manejo, devido ao risco de entupimento dos gotejadores.

O espaçamento entre gotejadores pode variar de 0,5 m a 1,0 m entre os gotejadores (a depender do tipo de solo). Para gotejadores com vazão maior, pode-se utilizar um maior espaçamento. Os gotejadores com vazão menor levam mais tempo para aplicar a lâmina de irrigação desejada.

• Microaspersão

No sistema microaspersão, a água é pulverizada sobre a superfície do solo, como na aspersão, mas produzindo áreas molhadas pequenas e localizadas próximo às plantas. A vazão desse sistema de irrigação é de 20 L/ha a 160 L/ha, com diâmetro de alcance dos emissores variando de 1,5 m a 10 m, e uma pressão de operação de 1 bar a 4 bar.

A microaspersão é um sistema de irrigação muito utilizado em pomares de noqueira-pecã, por possuir vantagens que beneficiam o desenvolvimento de pomares. Esse sistema é um pouco menos eficiente que a irrigação por gotejamento em termos de uso da água, devido à interferência dos ventos na aplicação, considerando-se, em geral, 85% de eficiência. Por outro lado, o sistema permite melhor desenvolvimento radicular, porque a área molhada é maior que a área molhada por um gotejador. No caso do sistema de irrigação por microaspersão, devem ser utilizados um ou dois emissores por planta (dependendo do espaçamento e diâmetro de alcance), com vazão entre 20 L e 50 L por hora. A escolha final deve ser feita com base no catálogo do equipamento, nas condições do pomar e de acordo com a demanda de água (Figuras 14E, 14F e 14G).

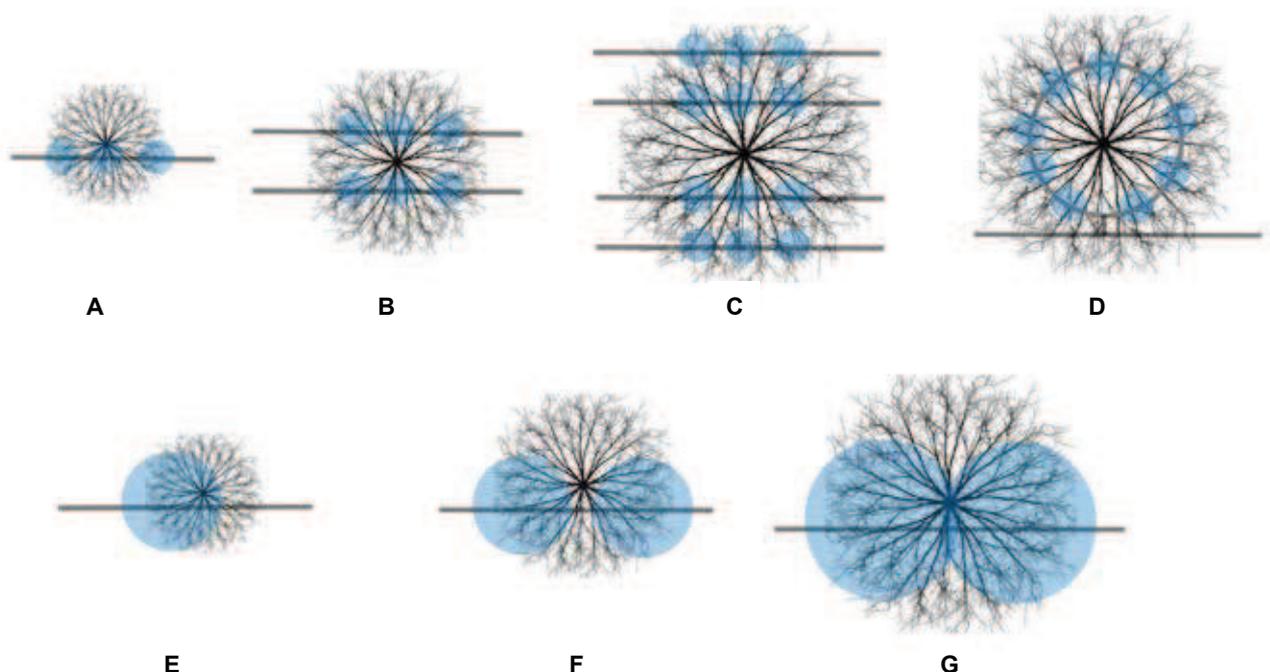


Figura 14. Representação gráfica das linhas laterais de sistema de irrigação por gotejamento em noqueira-pecã: uma linha lateral por fileira de plantas (A); duas linhas laterais por plantas (B) e quatro linhas laterais por plantas (C). Linha lateral com derivação de gotejadores que circulam a planta (D). Sistema de irrigação por microaspersão em noqueira-pecã: Plantas jovens com um microaspersor (E); adição de outro microaspersor (F); substituição do microaspersor por outro de maior vazão e diâmetro molhado (G).

O desafio em sistemas de irrigação por microaspersão é implementar um projeto que atenda as necessidades hídricas de plantas jovens e adultas. Assim, ao se instalar um sistema de irrigação, deve-se prever as necessidades e demanda da árvore adulta. No entanto, alguns componentes do sistema podem ser alterados à medida que as árvores crescem, como filtros e bombas. Entretanto, as linhas principais, linhas de derivação e linhas laterais devem estar prontas para o sistema adulto. Uma alternativa para ir atendendo a crescente demanda hídrica da planta ao longo de seu desenvolvimento é ir adicionando microaspersores na linha lateral e/ou substituindo microaspersores por outros de maior vazão.

Do ponto de vista operacional a microaspersão é um sistema que não interfere nas operações agrícolas, como a colheita mecanizada. Visto que é somente uma linha lateral (geralmente enterrada), que passa pela fileira alinhada com os troncos. Entre as desvantagens envolvidas em seu uso, apresenta problemas, devido ao fato do emissor por vezes ficar encoberto por plantas, o que interfere na distribuição do jato de irrigação. Além disso, esse sistema possui uma exigência de pressão de trabalho mais alta que a irrigação por gotejamento, o que implica um custo operacional mais elevado.

• Irrigação por superfície

Nesse método, a água é aplicada diretamente na superfície do solo. Consiste basicamente em inundações temporárias de parte do pomar, permitindo que a água entre no solo, ou a água é aplicada em sulcos ou faixas, ao ser conduzida por esses sulcos, a água vai infiltrando lentamente e umedecendo a zona radicular.

Para a aplicação desse sistema, é necessário ter grande quantidade de água, uma vez que sua eficiência é geralmente baixa. A capacidade de infiltração e retenção de água é muito importante na possibilidade de uso desse sistema (Madero et al., 2017), exigindo baixa capacidade de infiltração e elevada capacidade de armazenamento de água. Esse tipo de irrigação também requer, na maioria dos casos, uma sistematização prévia da área, para que seja possível formar a lâmina de água sobre o solo (inundação) ou que apresente uma inclinação adequada que garanta o avanço da água através dos sulcos ou faixas. Caso contrário, será extremamente difícil controlar a irrigação e realizá-la de maneira uniforme.

A irrigação por superfície também pode representar um incômodo durante a colheita, independentemente de ser manual ou mecanizada. Além disso, com esse sistema de irrigação, perde-se a possibilidade de fertirrigação, o que significa um aumento nos custos do produtor. Embora a irrigação por sulco e alagamento (inundação) seja utilizada em outros países, como Estados Unidos e México, no Brasil não é empregada para a noqueira-pecã.

• Irrigação por aspersão

Nesse sistema de irrigação, a água é conduzida em tubulações pressurizadas por um sistema de bombeamento até aspersores, que aplicam a água sobre a superfície. Essa tubulação e aspersores podem ser fixos, móveis e portáteis. Os sistemas de aspersão incluem o sistema pivô, sistemas autopropelidos ou canhões e a aspersão convencional.

Embora as plantas de noqueira-pecã sejam altas e dificultem uma aplicação sobre a folhagem, aspersores subcopa, instalados na superfície do solo, podem ser utilizados. Seu uso envolve a presença de aspersores de longo alcance, normalmente colocados entre as plantas, o que permite uma aplicação de água em quase 100% da área. Uma das vantagens da aspersão é a possibilidade de usar o sistema para molhar pastagens em pomares consorciados. Como os aspersores usados têm um bocal muito maior que o microaspersor, o problema de um potencial obstruído é eliminado. Além disso, operam com uma taxa de aplicação superior à do microaspersor.

Considerações finais

A noqueira-pecã é uma frutífera que não suporta solos com excesso de umidade por períodos prolongados. No entanto, é sensível ao déficit hídrico, sobretudo no período de frutificação, o que, além de afetar a produção anual, reflete-se nos ciclos produtivos subsequentes. Isso é constatado especialmente nos anos do fenômeno climático La Niña, tal como tem ocorrido nos últimos anos no Sul do Brasil, que influenciou severamente a produção e a qualidade de nozes. Isso remete à necessidade de programa de manejo de água no nogueiral, seja por práticas de conservação da água e/ou pelo uso de técnicas de irrigação. Ressalta-se, nesse sentido, a necessidade de articulação da cadeia produtiva e a mobilização de instituições públicas e privadas de criar mecanismos de promoção da adoção de sistemas de irrigação e das práticas de manejo da água compatíveis com a realidade das propriedades brasileiras.

Nesse contexto, torna-se crucial investir no desenvolvimento de pesquisas e tecnologias que assegurem o uso racional da água nos pomares de noz-pecã, sob pena de comprometer a sustentabilidade econômica e ambiental desse importante segmento para produção de alimentos.

Referências

- AGAM, N.; EVETT, S. R.; TOLK, J.; KUSTAS, W. P.; COLAIZZI, P. D.; ALFIERI, J. G.; McKEE, L. G.; COPELAND, K. S.; HOWELL, T. A.; CHÁVEZ, J. L. Evaporative loss from irrigated inter rows in a highly advective semi-arid agricultural areas. **Advances in Water Resources**, v. 50, p. 20-30, dez. 2012.
- AKKUZU, E.; SHENG, Z.; MICHELSEN, A.; RODRIGUEZ, O.; KING, J. Diurnal variation of canopy temperature differences and leaf water potential of field-grown olive (*Olea europaea* L. cv. Memecik) trees. **Philippine Agricultural Scientist**, v. 93, n. 4, p. 399-405, 2010.
- ALGHORY, A.; YAZAR, A. Evaluation of crop water stress index and leaf water potential for deficit irrigation management of sprinkler-irrigated wheat. **Irrigation Science**, v. 37, n. 1, p. 61-77, out. 2019.
- ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O.; RAES, D.; SMITH, M.; PEREIRA, L. S. Estimating evaporation from bare soil and de crop coefficient for the initial period using common soils information. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 131, n. 1, p.1-10, 2005.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: Fao, 1998. (FAO Irrigation and drainage paper, 56).
- ANA. **Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil no 2013**. 2018. Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/>. Acesso em: 15 mar. 2020.
- AQUASTAT: FAO's Global Information System on Water and Agriculture FAO. Disponível em: <http://www.fao.org/aquastat/en/>. Acesso em: 20 mar. 2020.
- BERGAMASCHI, H.; WHEELER, T. R.; CHALLINOR, A. N. J.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Maize yield and rainfall on different spatial and temporal scales in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 5, p. 603-613, maio 2007.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: UFV, 2011. 625 p.
- CALL, R. E.; GIBSON, R.; KILBYET, M. W. **Pecan production guidelines for small orchards and home yards**. Tucson: College of Agriculture and Life Sciences: University of Arizona, 2006. 12 p.
- CAMPBELL, G. S.; CAMPBELL, M. D. Irrigation scheduling using soil moisture measurements: Theory and practice. **Advances in Irrigation**, v. 1, p. 25-42, 1982.
- CAMPBELL SCIENTIFIC. Disponível em: <https://www.campbellsci.com.br/cs616-reflectometer>. Acesso em: 10 jun. 2020.
- CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; TROIS, C. The use of a meteorological station network to provide crop water requirement information for irrigation management. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, v. 293, p. 19-27, 2009.
- DE MARCO, R. **Fenologia, xenia e irrigação na produção de frutos de noqueira-pecã Pelotas**. 2020. 89 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.
- FERNANDEZ, J. E.; CUEVAS, M. V. Irrigation scheduling from stem diameter variations: A review. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, n. 2, p. 135-151, 2010.
- FERRAREZI, R. S.; NOGUEIRA, T. A. R.; ZEPEDA, S. G. C. Performance of Soil Moisture Sensors in Florida Sandy Soils. **Water**, v. 12, n. 2, p. 358, jan. 2020.

- GANJEGUNTE, G. K.; SHENG, Z.; CLARK, J. A.; JOHN, A. C. Evaluating the accuracy of soil water sensors for irrigation scheduling to conserve freshwater. **Applied Water Science**, v. 2, n. 2, p. 119-125, fev. 2012.
- IDSO, S.; ACKSON, R. J.; PINTER, P.; REGINATO, R.; HATFIELD, J. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. **Agricultural Meteorology**, v. 24, p. 45-55, 1981.
- IRMAK, S.; PAYERO, J. O.; VAN De WALLE, B.; REES, J.; ZOUBECK, G.; MARTINS, D. L.; KRANZ, W. L.; EISENHAUER, D. E.; LEININGER, D. **Principles and operational characteristics of watermark granular matrix sensor to measure soil water status and its practical applications for irrigations management in various soil textures**. Lincoln: University of Nebraska, 2014. (Extension Publications, EC783).
- IRROMETER COMPANY – Soil Water Management Since. Disponível em: <https://www.irrometer.com/>. Acesso em: 10 jun. 2020.
- JABRO, J. D.; STEVENS, W. B.; IVERSEN, W. M.; ALLEN, B. L.; SAINJU, U. M. Irrigation Scheduling Based on Wireless Sensors Output and Soil-Water Characteristic Curve in Two Soils. **Sensors**, v. 20, n. 1338, p. 1-11, 2020.
- JONES, H. G. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 407, p. 2427-2436, 2004.
- KOOL, D.; AGAM, N.; LAZAROVITCH, N.; HEITMAN, J. L.; SAUER, T. J.; BEN-GAL, A. A review of approaches for evapotranspiration partitioning. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 184, p. 56-70, 2014.
- KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World map of the Koppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.
- LAMERS, J.; VAN DER MEER, T.; TESTERINK, C. How Plants Sense and Respond to Stressful Environments. **Plant Physiology**, v. 182, n. 4, p. 1624-1635, 2020.
- LIU, Y.; SHENG, Z. Soil Moisture Status in an Irrigated Pecan Field. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 139, n. 1, p. 26-40, 2013.
- LOCKWOOD, D. W.; SPARKS, D. Translocation of ^{14}C in 'Stuart' pecan in the spring following assimilation of $^{14}\text{CO}_2$ during the previous growing season. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 103, n. 1, p. 38-45, 1978.
- MADERO, E. R.; TRABICHET, F. C.; PEPÉ, F.; WRIGHT, E. **Manual de manejo del huerto de nogal pecán**. Buenos Aires: Ediciones INTA, 2017. 94 p.
- MARTINS, J. D.; RODRIGUES, G. C.; PAREDES, P.; CARLESSO, R.; OLIVEIRA, Z. B.; KNIES, A. E.; PETRY, M. T.; PEREIRA, L. S. Dual crop coefficients for full and deficit irrigated maize in southern Brazil: model calibration and validation for sprinkler and drip irrigation and mulched soil. **Biosystems Engineering**, v. 115, n. 3, p. 291-310, 2013.
- PAYERO, J. O.; IRMAK, S. Variable upper and lower crop water stress index baselines for corn and soybean. **Irrigation Science**, v. 25, n. 1, p. 21-32, 2006.
- PEREIRA, L. S.; TROUT, T. J. Irrigation methods. In: VAN LIER, H. N.; PEREIRA, L. S.; STEINER, F. R. (ed.). **CIGR Handbook of Agricultural Engineering**. St Joseph: ASAE, 1999. p. 297-379. (Land and Water Engineering, v. 1).
- PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G.; SMITH, M.; RAES, D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: past and future. **Agricultural Water Management**, v. 147, p. 4-20, 2015.
- POÇAS, I.; RODRIGUES, A.; GONÇALVES, S.; COSTA, P. M.; GONÇALVES, I.; PEREIRA, L. S.; CUNHA, M. Predicting Grapevine Water Status Based on Hyperspectral Reflectance Vegetation Indices. **Remote Sensing**, v. 7, p. 16460-16479, 2015b.
- RITCHIE, J. T. Water dynamics in the soil-plant-atmosphere system. **Plant and Soil, Dorbrecht**, v. 58, p. 81-96, 1981a.
- RITCHIE, J. T. Soil water availability. **Plant and Soil, Dorbrecht**, v. 58, p. 327-338, 1981b.
- SAMMIS, T. W.; MEXAL, J. G.; MILLER, D. Evapotranspiration of flood irrigated pecans. **Agricultural Water Management**, v. 69, n. 3, p. 179-190, 2004.
- SIERRA, E. M.; PEREZ, S. P.; CASAGRANDE, G.; VERGARAR, G. Efecto del ENSO sobre las precipitaciones del trimestre noviembre-enero (1981/1998) en el centro este de la provincia de la Pampa, Argentina. **Revista Agronómica de Agrometeorología**, v. 1, n. 2, p. 83-87, 2001.
- SMITH, M. W.; BOURNE, R. B. Seasonal effects of flooding on greenhouse grown seedling pecan trees. **HortScience**, v. 24, p. 81-83, 1989.
- SPARKS, D. Rainfall governs pecan stand homogeneity in Native, wild habits. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 127, n. 5, p. 860-868, 2002.
- STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 38 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

WANG, J.; SAMMIS, T. W.; ANDALIS, A. A.; SIMMONS, L. J.; GUTSCHICK, V. P.; MILLER, D.R. Crop coefficients of open-canopy pecan orchards. **Agricultural Water Management**, v. 88, n. 1-3, p. 253-262, 2007.

WELLS, L. **Southeastern Pecan Grower's Handbook**. Athens: University of Georgia. 2017. 236 p.

WOODROOF, J. G.; WOODROOF, N. C. Pecan root growth and development. **Journal of Agricultural Research**, v. 49, p. 511-530, 1934.

YAGÜE, J. L. F. **Técnicas de riego**. 3. ed. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca Y Alimentación, 1998. 471 p.

YIMAM, Y. T.; OCHSNER, T.; KAKANI, V. G. Evapotranspiration partitioning and water use efficiency of switchgrass and biomass of sorghum managed for biofuel. **Agricultural Water Management**, v. 155, p. 40-47, 2015.

ZARCO-TEJADA, P. J.; GONZÁLEZ-DUGO, V.; WILLIAMS, L. E.; SUÁREZ, L.; BERNI, J. A. J.; GOLDHAMER, D.; FERERES, E. A PRI-based water stress index combining structural and chlorophyll effects: assessment using diurnal narrow-band airborne imagery and the CWSI thermal index. **Remote Sensing of Environment**, v. 138, p. 38-50, 2013.

ZIPPER, S. C.; QIU, J.; KUCHARIK, C. J. Drought effects on US maize and soybean production: spatiotemporal patterns and historical changes. **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 09, p. 1-12, 2016.