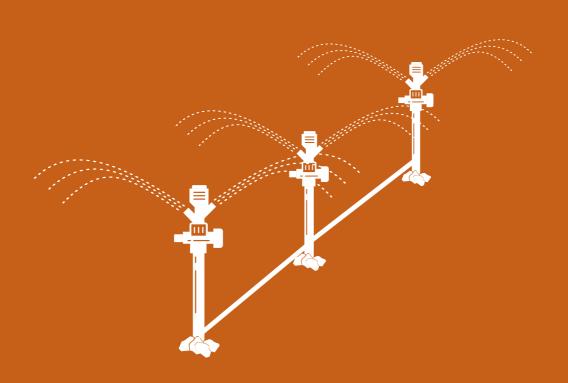
(APTTVLO 10

IRRIGA(ÃO

Joaquim Alves de Lima Júnior Maria do Bom Conselho Lacerda Medeiros Helane Cristina Aguiar Santos Marcus Jose Alves de Lima Jefferson dos Santos Martins





Introdução

O açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma palmeira nativa da Amazônia, que produz touceiras e perfilhos (Trevisan et al., 2015), considerada a mais importante do gênero *Euterpe* entre as dez registradas no Brasil e das sete que ocorrem na Amazônia (Oliveira et al., 2002). Essa espécie vem ganhando destaque nacional e internacional, por ser uma fruta de elevada composição nutricional e que está relacionada à prevenção de doenças cardiovasculares (Rocha, 2015; Yamaguchi et al., 2015).

A escassez da água disponível na Terra é uma preocupação global, acirrada pelo crescimento populacional e pela crescente demanda por água e alimentos. Assim, produzir mais alimentos com o mínimo de recursos hídricos tornou-se o foco dos cientistas em todo o mundo (Yang et al., 2020), além do cenário futuro de mudanças climáticas (Shrestha et al., 2018). A necessidade de água para irrigação e produção de alimentos tornou-se uma das demandas mais iminentes sobre os recursos hídricos (Rosa et al., 2020).

A agricultura requer cerca de 70% dos recursos hídricos e, no Brasil, a irrigação representa 40% do uso dessa água (FAO, 2020), especialmente em regiões com chuvas irregulares, exigindo uma gestão eficiente para evitar problemas no solo e queda na produtividade (Lessa et al., 2024). A baixa eficiência no uso da água pode levar ao déficit hídrico, uma das principais limitações agrícolas, impactando negativamente as atividades fisiológicas e restringindo o crescimento vegetativo e produtivo das plantas (Sousa; Jardim, 2007; Endres et al., 2010).

Nos últimos anos, o estado do Pará tem mudado suas áreas de cultivo de açaí, tradicionalmente cultivado em regiões de várzea (açaizais nativos), para áreas irrigadas de terra firme, com destaque para o nordeste do estado (Nogueira et al., 2005). Apesar do aumento recente no cultivo de açaizeiro irrigado no estado, ainda há uma carência de informações sobre os custos da irrigação, o

perfil dos irrigantes e a qualidade dos sistemas empregados (Souza et al., 2012).

Na agricultura irrigada, alcançar uma produção eficiente e lucrativa deve ser o principal objetivo econômico, sendo fundamental avaliar os riscos envolvidos na adoção de novas tecnologias (Barnes et al., 2015; Silva et al., 2016). A irrigação exige um alto investimento inicial, além de envolver o uso intensivo de insumos agrícolas, o que torna indispensável uma análise econômica cuidadosa dos seus custos (Viana et al., 2021). Estima-se que o custo total anual do açaizeiro irrigado no Pará seja de R\$ 1.137,84 por hectare para um investimento de R\$ 5.000,00 por hectare e um sistema de microaspersão com 1,3 cv/ha, com um acréscimo necessário médio de produtividade, em relação à produtividade do açaizeiro de segueiro em torno de 27% (Souza et al., 2013).

Estudos sobre a viabilidade econômica do cultivo de açaizeiro irrigado na mesorregião Nordeste Paraense indicam que o retorno efetivo do capital investido ocorre a partir do 9º ano de cultivo, na ordem de R\$ 5,19 líquido para cada R\$ 1,00 aplicado na cultura. Embora o longo tempo de retorno esteja associado à demora da produção comercial, o cultivo de açaizeiro irrigado nas condições ambientais do nordeste do estado é viável economicamente (Homma et al., 2009; Viana et al., 2020).

O cultivo irrigado de açaizeiro de terra firme apresenta-se como uma opção atraente, pois viabiliza a utilização de novas técnicas de produção, como a adubação e a irrigação, o que resulta em produtividades consideravelmente superiores aos açaizais nativos. Além disso, o plantio em terra firme oferece a vantagem de permitir a adubação química por meio da fertirrigação, algo impraticável nas áreas de várzea, o que também contribui para aumentar a produtividade da cultura (Homma et al., 2006).

Dessa forma, a utilização das cultivares de açaizeiro BRS Pará e BRS Pai d'Égua em terra firme tem contribuído de maneira significativa para incrementos de produtividade nos plantios conduzidos sob irrigação. Nessas áreas, estima-se que essas cultivares consigam

alcançar produtividades anuais entre 10 e 12 t/ha, superando em mais de 50% a produtividade média do açaizeiro manejado na várzea e do cultivado em terra firme sem irrigação (Oliveira; Farias Neto, 2005; Farias Neto, 2019).

A reposição hídrica adequada desempenha um papel crucial no desenvolvimento, crescimento, produtividade e rendimento de polpa dos vegetais, ou seja, nas diferentes respostas apresentadas pelas plantas às alterações ambientais. Isso porque a água, como solvente natural, viabiliza as reações bioquímicas e o transporte de nutrientes, fundamental na interligação do sistema solo-planta-atmosfera (Taiz et al., 2017).

Considerando a carência de informações sobre a produção de açaizeiro irrigado no estado do Pará e a importância de utilizar-se a quantidade mínima de água necessária para garantir uma produção economicamente viável e sustentável, este capítulo abordará as técnicas de irrigação mais adequadas para a cultura, com base em estudos mais recentes e relevantes da literatura, bem como no conhecimento de especialistas dessa área.

Condições meteorológicas para irrigação no açaizeiro

As condições meteorológicas apresentam grandes preocupações para a agricultura, gerando riscos, incertezas e variações na produção e manejo das espécies frutíferas na Amazônia. Portanto, conhecer as características e peculiaridades do clima dessa região ajuda nas tomadas de decisões, contribuindo para maiores incrementos de produção e redução de perdas agrícolas. Condições ambientais, como a temperatura do ar, podem induzir o fechamento dos estômatos, reduzir a taxa fotossintética e paralisar o crescimento e desencadear desidratação dos tecidos (Aroca, 2012).

Atualmente, os elementos meteorológicos e as mudanças climáticas têm um impacto significativo na produção das frutíferas, aumentando a necessidade de irrigação. As alterações nos padrões de precipitação, como a irregularidade das chuvas e a intensificação de períodos de seca, criam desafios para o cultivo de açaizeiro no estado do Pará, pois a cultura depende de uma disponibilidade constante de água.

Além disso, o aumento das temperaturas e a maior frequência de eventos extremos, como ondas de calor, elevam as taxas de evapotranspiração, exigindo uma gestão mais precisa e intensiva da irrigação para garantir maior produtividade. Dessa forma, a irrigação se torna essencial para mitigar os efeitos adversos das mudanças climáticas e assegurar a viabilidade econômica da produção de açaí.

Estudos realizados por Medeiros (2022), sobre o comportamento dos elementos meteorológicos na região Nordeste Paraense (Figura 10.1), mostram que há um aumento significativo na evapotranspiração e temperatura no período de menor precipitação pluvial, o que justifica a reposição hídrica nessa região por meio de irrigação suplementar. O estudo destaca que os meses de janeiro a julho são os de maior precipitação, enquanto agosto a novembro apresentam as maiores taxas de evapotranspiração e temperaturas no Nordeste Paraense, região importante para a produção de açaí no estado do Pará.

Nesse sentido, Souza et al. (2023), em uma região amazônica, com períodos de chuvas intensas em determinadas épocas do ano, mostraram que as menores taxas de precipitação ocorreram entre julho e novembro de 2019, destacando a variação sazonal da precipitação na região. O açaizeiro cultivado na região amazônica apresenta duas fases em estações bem definidas, pois o início da inflorescência ocorre no período mais chuvoso do ano, enquanto a infrutescência ocorre durante os meses de menor precipitação pluvial (Souza et al., 2023).

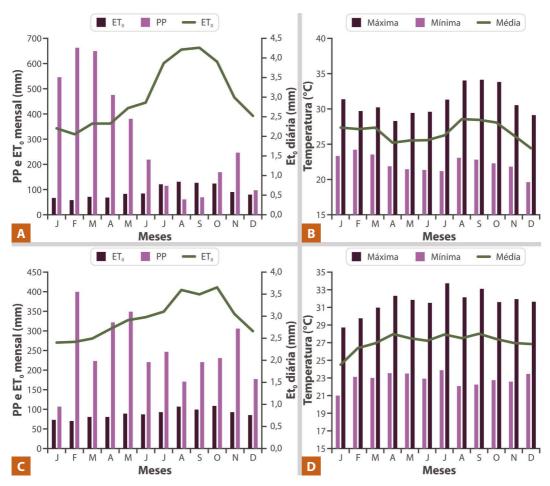


Figura 10.1. Precipitação pluviométrica (PP) mensal e evapotranspiração de referência (ET₀) mensal e diária e temperaturas médias mensais registradas no Nordeste Paraense nos anos de 2020 (A e B) e 2021 (C e D). Fonte: Adaptado de Medeiros (2022).

Embora não existam, ainda, resultados concretos e validados sobre a real demanda hídrica da cultura do açaizeiro contemplando a sua fase juvenil, isto é, do plantio ao início da produção, os resultados obtidos por Souza et al. (2023) para a fase reprodutiva do açaizeiro durante o período menos chuvoso do Nordeste Paraense contribuem de maneira significativa para o manejo racional da irrigação da cultura durante essa fase fenológica da planta, sob as condições ambientais em que o estudo foi realizado.

Além da precipitação, a temperatura do ar e a radiação solar são outros elementos relevantes para o desenvolvimento e

produção do açaizeiro no estado do Pará, pois, em condições extremas (julho a outubro), promovem o rescaldamento da vegetação, prejudicando o processo de evapotranspiração e causando seca severa das folhas. Embora Bastos et al. (2006) considerem as temperaturas máximas do ar entre 28 e 34 °C e insolação anual superior a 1.800 horas como ideais para plantios de açaizeiro sem irrigação, recomenda-se o monitoramento constante, utilizando a água como moderador térmico quando a temperatura atingir os limites críticos para a espécie (Figura 10.2).



Figura 10.2. Irrigação como moderador térmico no período de estiagem, em Moju, PA, 2023.

Exigências hídricas do açaizeiro em terra firme

O uso de irrigação em cultivos de açaizeiro no ambiente amazônico vem sendo realizado de forma empírica, pois existem poucos trabalhos específicos sobre sua exigência hídrica. No entanto, para entender a demanda hídrica de uma cultura, necessita-se ter em mente os conceitos de coeficiente de cultivo (Kc) e evapotranspiração de referência (ET_a), bem como o de evapotranspiração da cultura (ET_c). No geral, a ET_c representa a máxima demanda hídrica de uma cultura em condições ótimas, considerando-se nutrição, sanidade umidade do solo, e sua unidade de medida é milímetros por dia, sendo determinada pelo produto entre Kc e ET_0 ($ET_C = Kc \times ET_0$).

A ET₀ é uma variável meteorológica que é modulada, principalmente, pela temperatura, umidade do ar, radiação solar e vento, representando o requerimento hídrico potencial de uma cultura genérica ou de referência, daí o nome evapotranspiração de referência. Para converter-se a ET₀ para ET_c, nesse caso a cultura do açaí, é necessário um fator específico da cultura, ou seja, o Kc do açaizeiro.

O Kc, por sua vez, é um parâmetro de difícil determinação, pois requer aparatos experimentais que demandam recursos financeiros, humanos e temporais para sua correta estimativa. Entretanto, já existem coeficientes de cultivo para diversas culturas, sobretudo aquelas de elevados valores econômicos. É importante salientar que esse coeficiente não possuí um valor fixo, mas que ele varia de acordo com as fases de desenvolvimento das plantas.

As variações dos valores de Kc são mais comuns de serem observadas em culturas anuais, por meio das etapas chamadas de desenvolvimento fenológico, as quais são marcadas pelo aparecimento de estruturas reprodutivas e pelo desenvolvimento foliar. Assim, cada etapa fenológica possui uma demanda hídrica distinta e um Kc também diferente.

Em plantas frutíferas, o Kc varia mais lentamente. Com algumas exceções, as fruteiras tropicais levam de 3 a 5 anos para estabilizarem sua copa (área foliar) e iniciar a fase reprodutiva. A partir desse período, o Kc torna-se constante e, antes disso, pode aumentar anualmente, uma vez que, após o plantio, a planta vai desenvolvendo sua copa e consequentemente a sua área foliar, até atingir

a estabilidade. Dessa maneira, quanto maior a área foliar da planta, maior será a necessidade hídrica da cultura, já que mais de 90% da água absorvida pelas raízes é perdida pelas folhas através do processo de transpiração.

Um dos principais estudos sobre a demanda hídrica do açaizeiro foi desenvolvido por Souza et al. (2023), aplicando uma metodologia de fluxo de energia (Razão de Bowen) para identificar os padrões de dissipação de calor da cultura por meio da evapotranspiração. Esse experimento foi conduzido por dois anos (2019 e 2020) e produziu diversos resultados, dentre eles o valor de Kc = 1,1 para a fase reprodutiva do açaizeiro durante o período menos chuvoso do Nordeste Paraense. A pesquisa foi realizada sobre um plantio comercial de 8 anos, em espaçamento 6 x 4 m, utilizando-se a variedade chumbinho com duas estipes por touceira, na zona climática Am.

A determinação do valor de Kc (1,1) pelos autores supracitados é uma importante contribuição técnica para produção de açaí em terra firme, considerando-se a eficiência de reposição de água por meio da irrigação, já que o açaizeiro em idade produtiva não tolera períodos de estiagem (déficit hídrico) superiores a 2 semanas. Se tal situação ocorrer, a planta derrubará seus frutos e atrasará a próxima floração. Dessa forma, o sucesso de um pomar de alta produtividade deverá passar pela adequada suplementação hídrica das plantas cultivadas.

Determinação da lâmina de irrigação para a cultura

A irrigação do açaizeiro, de um modo geral, ainda está longe de ser aplicada com o rigor técnico necessário. Porém, nos últimos anos, essa realidade vem mudando, a julgar pelo aumento e organização de grupos formados por pesquisadores e produtores envolvidos com a cultura que visam altas produtividades

de frutos. A literatura especializada menciona que, para um bom manejo de irrigação, precisamos responder três questões fundamentais: quanto, quando e como irrigar.

Em vista disso, um exemplo detalhado será adotado para responder às duas primeiras questõesnascondiçõesambientaisamazônicas (quanto e quando irrigar). Inicialmente, deve-se estimar a ET₀ pelo método Penman-Monteith, recomendado como modelo padrão pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) (Allen et al., 1998). Esse método exige diversas variáveis meteorológicas, tais como: radiação solar, temperatura e umidade do ar, além da velocidade do vento.

Quanto irrigar?

Considerando-se um valor de ET_0 médio de 5 mm/dia, típico do ambiente amazônico no período de maior déficit hídrico, e aplicando-se o Kc = 1,1 (Souza et al., 2023), iremos obter a ET_0 do açaizeiro ($ET_0 = ET_0$ x Kc) de 5,5 mm/dia. Para converter esse valor para a unidade de litros por touceira, basta multiplicá-lo pela área ocupada por uma planta (touceira). Por exemplo, se temos touceiras (açaizeiros) sendo cultivadas em espaçamento de 5 x 5 m, significa que cada açaizeiro estará ocupando uma área de 25 m², e que sua utilização de água diária é de 137,5 L.

Deve-se ter atenção na determinação do ET_C, uma vez que a demanda hídrica diária das plantas não deve ser considerada como um valor fixo, pois ele varia com as condições de tempo do local e com espaçamento do plantio, haja vista que, se o espaçamento dos açaizeiros mudar para 6 x 3 m, resultará em uma área de 18 m² e uma demanda por água de 99 L por touceira.

Quando irrigar?

Para responder quando se deve irrigar um cultivo de açaizeiro, faz-se necessária a introdução do conceito de capacidade de água disponível (CAD), visto que o termo

indica a quantidade de água que um determinado volume de solo pode reter. Sua unidade de medida é dada em milímetros, sendo determinada pelo produto entre o comprimento efetivo do sistema radicular da cultura e o volume de solo padronizado de base quadrada e profundidade variável.

Entretanto, a CAD é uma variável de difícil determinação, pois depende das propriedades físicas e químicas do solo, e sua determinação requer amostragem especial e análises em laboratórios especializados, com agravante de existirem poucas unidades no Brasil que prestam esse tipo de serviço. Porém, na impossibilidade de se obter dados locais, pode-se utilizar aproximações práticas que correlacionam o teor de argila com a CAD, dado que a argila é de fácil determinação e muita vezes já está incluída em análises químicas de solo de rotina (Tabela 10.1).

Considerando que o teor de argila é determinado na análise de textura do solo, um solo com teor de argila de 21% na camada de 0 a 20 cm é classificado como de textura média (Tabela 10.1), com CAD de 140 mm/m. Ao multiplicar-se o valor da CAD pela profundidade da camada (0,2 m), obtemos uma CAD de 28 mm.

Através de outro exemplo, podemos elucidar o que realmente significa CAD e qual sua importância prática para o manejo da irrigação do açaizeiro. Considerando uma análise de textura do solo na camada de 50 cm (0,50 m) que apresentou CAD de 70 mm, isso indica que cada metro quadrado de solo até a camada especificada pode reter no máximo 70 L de água. Ampliando esse conceito para uma condição tangível, como um plantio de açaizeiro em espaçamento de 5 x 5 m (Figura 10.3), o volume máximo de água disponível para as plantas de açaí seria de 1.750 L (= 70 mm x 25 m²).

Tabela 10.1. Valores de capacidade de água disponível (CAD) no solo para diferentes texturas.

Textura do solo	Teor de argila (%)	CAD (mm/m)
Argilosa	> 35	200
Média	15–35	140
Arenosa	< 15	60

Fonte: Doorenbos e Kassam (1994).

Outra opção é a utilização do aplicativo Zarc Plantio Certo, desenvolvido pela Embrapa e disponibilizado gratuitamente. Nesse aplicativo, é possível estimar a CAD, denominada no aplicativo de água disponível (AD), inserindo-se os teores de argila, silte e areia, que são facilmente obtidos em análises rotineiras de solo.

Como mencionado anteriormente, o volume de água disponível do solo pode ser facilmente estimado, com razoável precisão, por meio da multiplicação da CAD (mm/m) pela profundidade (m) efetiva do sistema radicular (Z) da cultura de interesse. A seguir será utilizado um exemplo prático para demonstração.

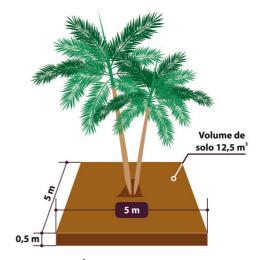


Figura 10.3. Área ocupada por uma touceira de açaizeiro (*Euterpe oleracea*) cultivada em espaçamento 5 x 5 m.

Infográfico: Vitor Lôbo.

Ou seja, logo após uma chuva intensa, cada touceira teria 1.750 L de água disponível no solo. Entretanto, em uma situação de manejo de irrigação, jamais pode-se deixar a planta exaurir totalmente o valor da CAD, pois a maioria

das fruteiras tropicais sentem os efeitos da deficiência de água no solo após a utilização da metade da CAD.

Portanto, para responder efetivamente quando irrigar, deve-se determinar o número de dias que a planta suportaria ficar sem irrigação (NDSI), o que pode ser realizado a partir da obtenção do volume de água total disponível às plantas (CAD) e o volume de água que ela extrai do solo por dia via evapotranspiração (ET_C = ET₀ x Kc), por meio da Equação 10.1:

$$NDSI = \frac{CAD * \acute{a}rea}{ET_o * Kc * \acute{a}rea} \longrightarrow NDSI = \frac{CAD}{ET_c}$$
 (10.1)

em que

NDSI = número de dias sem irrigação (dia). CAD = capacidade de água disponível (mm). ET_{c} = evapotranspiração da cultura (mm/dia).

Uma vez que somente a metade da CAD é levada em consideração para efeito de manejo da irrigação, deve-se acrescentar um fator (f) de 0,5 para determinação da disponibilidade real de água no solo que a cultura poderá usar sem comprometer significativamente a sua produtividade estimada. Assim, de acordo com a Equação 10.2, tem-se que:

$$NDSI = \frac{CAD * f}{ET_C}$$
 (10.2)

em que

NDSI = número de dias sem irrigação (dia). CAD = capacidade de água disponível (mm). f = fator de disponibilidade de água no solo igual a 0,5 (adimensional).

ET_C = evapotranspiração da cultura (mm/dia).

Substituindo os valores determinados anteriormente para a cultura do açaizeiro na Equação 10.2, observa-se que o NDSI seria de, aproximadamente, 6 dias (= 0,5 x 70 mm/5,5 mm/dia). Nos cultivos que utilizam sistemas de irrigação localizada (microspray e gotejamento), o valor da CAD será menor em razão de apenas uma parte da área ser molhada pelos emissores, reduzindo também o NDSI.

Dessa forma, a umidade do solo pode ser monitorada e o manejo da irrigação pode ser ajustado conforme as variações das condições meteorológicas do local. No entanto, a metodologia descrita é muito prática e possibilita uma percepção geral do balanço de água no solo.

Os procedimentos metodológicos supracitados, associados às observações de campo, como monitoramento da umidade do solo e aspecto da planta, possibilitarão fazer ajustes finos e, consequentemente, uma irrigação mais eficiente. A noção do momento de irrigar é algo tão importante que, caso seja negligenciado, poderá comprometer a produção anual, mesmo com suplementação hídrica. A princípio, isso pode parecer contraditório, mas essa é uma das principais razões do baixo rendimento dos açaizais plantados no estado do Pará.

A explicação para tal afirmação está associada ao fato de que muitos produtores, se não a maioria, iniciam a irrigação dos cultivos de maneira empírica, isto é, quando todas as poças de água observadas na propriedade secam. Em outras palavras, o produtor permitiu que a planta exaurisse todo o recurso hídrico disponível do solo, o que deixa a planta com estresse hídrico "crônico" mesmo após os eventos de irrigação.

Como irrigar?

A última questão fundamental da irrigação ainda permanece em aberto. Não há resultados e nem pesquisas, até o momento, associados ao tema. Mas já existem diversos métodos em uso, como microaspersão, microspray, gotejamento e, mais recente, o método da miniaspersão (Figura 10.4). Certamente cada método possui suas especificações, vantagens e desvantagens. Se o sistema for bem projetado e ajustado para fornecer a lâmina na quantidade e no momento correto, só restará analisá-lo em termos de manutenção e eficiência de aplicação.

A microaspersão (Figura 10.5), método majoritariamente utilizado, apresenta boa distribuição e intensidade de aplicação, adaptabilidade ao terreno e fácil instalação, pois não é preciso enterrar as linhas de emissores. Em geral, os microaspersores umedecem toda a área de plantio, incluindo

as entrelinhas. Nessa irrigação, já foram observadas áreas com alto rendimento (> 9 t/ha). A manutenção é um gargalo importante, pois geralmente o sistema é composto de mangueira de polietileno, microtubo de 60 cm, haste de 45 cm e emissor, que são frequentemente danificados ao longo do ano, necessitando de frequente manutenção.



Figura 10.4. Emissores utilizados para a aplicação de água de irrigação na cultura do açaizeiro: microaspersor (A); microspray (B); gotejadores (C) e miniaspersor (D).

Sistemas de microspray apresentam estruturas semelhantes à microaspersão, com a vantagem de utilizar um emissor mais simples e de menor preço de mercado (Figura 10.6). Entretanto, não conseguem umedecer a área total, geralmente produzindo uma faixa molhada de 2 a 3 m de largura. Possuem boa distribuição e intensidade de aplicação. Também já foram observadas áreas de alto rendimento (> 9 t/ha), embora apresentem os mesmos problemas de manutenção comentados sobre o sistema anterior.



Figura 10.5. Irrigação por microaspersão do açaizeiro BRS Pará (*Euterpe oleracea*) nos municípios de Cametá, PA (A), 2024, e Moju, PA (B), 2023.



Figura 10.6. Sistema de irrigação microspray em açaizeiro (*Euterpe oleracea*) de terra firme, município de Moju, PA, 2023.

De estrutura totalmente diferente dos métodos anteriores, o gotejamento apresenta mangueira de polietileno com emissores embutidos, formando faixa molhada com dimensões que variam de acordo com o teor de argila do solo e a vazão dos gotejadores. Em geral, observam--se faixas de 1 m de largura nesse método. O sistema de irrigação por gotejamento tem sido observado em plantios novos de açaizeiro, ou seja, ainda na fase vegetativa. Por isso, até o momento, não se tem relatos de produtividade em área com esse sistema. É um sistema que possui menos elementos, necessitando de menos reparos. Todavia, insetos da ordem coleópteras estão surgindo como novos agentes de danos, pois conseguem furar as mangueiras de forma sequenciada, gerando grande perda de carga e comprometendo consideravelmente a uniformidade de aplicação.

A miniaspersão possui também estrutura diferente dos métodos anteriores. Toda a distribuição é feita em tubo de PVC, com emissores elevados 1 macima do solo e tubulação enterrada, o que dificulta a implantação e proporciona pouca adaptabilidade. O sistema necessita de vazões maiores e, por isso, trabalha com diâmetros maiores, sendo um sistema oneroso e mais caro, quando comparado à microaspersão. No entanto, apresenta boa distribuição e intensidade de aplicação, com manutenção de baixa complexidade. Quando projetado para irrigar a área total, necessita de mais de 40% de sobreposição, pois o vento possui grande efeito nesse sistema de aplicação. Esse sistema tem sido observado tanto em plantios em fase vegetativa como reprodutiva, com relatos de boa produtividade (> 7 t/ha), porém sem elevado custo de manutenção.

No geral, os principais agentes de dano aos sistemas utilizados em áreas de cultivo de acaizeiro irrigado são:

- a) Colheita, pois os colhedores geralmente caminham olhando para cima e consequentemente danificam os emissores com os pés, tanto para o sistema de microaspersão como microspray.
- b) Roçagem, haja vista que as roçadeiras (motor dois tempos) cortam as mangueiras de polietileno e microtubos, além de quebrar emissores e hastes. Por mais cuidadoso que seja o roçador, danos desse tipo ainda são frequentes.
- c) Queda de folhas, uma vez que o açaizeiro derruba naturalmente uma palha (folha) por mês e, devido ao porte e ao peso da folha, pode danificar o emissor se cair sobre este.
- d) Insetos da ordem coleópteras, já que perfuradores de mangueiras têm sido observados em grande parte dos sistemas, sendo, porém, mais frequentes

no sistema de gotejo, devido à menor espessura das mangueiras.

Com exceção da queda de folhas, não foi observada a presença de agentes de dano no sistema de miniaspersão, condicionando-se a uma menor manutenção desse sistema.

Apesar das vantagens quanto à utilização desses métodos, é indispensável o uso de sistema adequado de filtragem de água, em especial nos sistemas de microaspersão, microspray e gotejamento, conforme indicado pela análise da água. Considerando-se a passagem da água por emissores de pequeno diâmetro, o que pode causar obstrução e diminuir a eficiência de aplicação de água, o investimento em um sistema de filtragem é praticamente certo. Os sistemas de filtragem mais utilizados são de disco, tela ou areia, com acionamento manual ou automatizado por meio de válvula de retrolavagem (Figura 10.7), garantindo maior durabilidade e desempenho do sistema de irrigação.



Figura 10.7. Filtros de tela (A) e de disco (B) utilizados para filtragem de água em sistemas de irrigação localizada.

Manejo da irrigação

Para soluções eficazes de manejo da irrigação, é essencial monitorar indicadores de umidade, que podem ser avaliados pela planta, clima ou no próprio solo. Mantovani et al. (2009) destacaram que o manejo só é eficiente ao considerar a interação solo-planta-atmosfera. A planta, sendo o elo entre solo e atmosfera, serve como excelente indicador do status hídrico do solo, por meio de sinais como: mudança na coloração e posicionamento das folhas, taxa de crescimento, teor de água, potencial hídrico, temperatura, taxa de transpiração e abertura estomática, que ajudam a avaliar suas necessidades hídricas.

Embora o monitoramento da irrigação via planta seja ideal, sua aplicação no campo é bastante limitada devido aos procedimentos envolvidos e à falta de informações sobre limites recomendáveis para a maioria das culturas. Além disso, as dificuldades operacionais tornam esse método mais caro e complexo, quando comparado aos métodos baseados nas condições de solo ou no clima. Portanto, neste tópico, serão abordadas as técnicas mais utilizadas de manejo de irrigação via solo e via clima, em vista de suas maiores praticidades de uso para o monitoramento eficiente da demanda hídrica da cultura do açaizeiro.

Manejo via solo

Entre os métodos de manejo de irrigação estudados cientificamente, destaca-se o monitoramento da tensão da água no solo (tensiometria). Esse método mede a quantidade de energia que as plantas precisam para extrair água do solo. Com base no conhecimento da tensão da água, é possível determinar a quantidade ideal de água a ser aplicada, considerando-se a capacidade de armazenamento de água do solo e as necessidades hídricas das plantas, garantindo um uso mais eficiente da irrigação.

Medidas de tensão aferidas no perfil do solo permitem estimar a quantidade de água a ser aplicada por irrigação, que pode ser obtida com o auxílio de uma curva de retenção de água do solo (Marouelli; Silva, 2014), a qual relaciona teor de água no solo à tensão com que essa água está retida. Quanto mais a água estiver retida no solo, mais energia a planta precisa gastar para absorvê-la e, assim, suprir as suas necessidades metabólicas,

especialmente a transpiração. Esse controle é realizado com o auxílio de tensiômetros que trabalham na faixa de tensão de 0 a 80 kPa.

Diversos estudos na literatura indicam que a tensão da água no solo é útil tanto para determinar o momento ideal de irrigação (quando irrigar), quanto para definir a quantidade de água a ser aplicada (quanto irrigar) em diversas culturas (Lima Junior et al., 2012; Aviz et al., 2019; Santos et al., 2020; Santos, 2023; Martins, 2024). Para absorver a água do solo, a planta precisa superar a tensão de sucção, medida pelo tensiômetro, que indica a umidade do solo na profundidade em que foi colocado.

O tensiômetro consiste em um medidor de vácuo (espaço vazio) e um tubo selado com um copo de cerâmica porosa, simulando o fluxo de água por meio do solo. À medida que o solo ao redor da cerâmica seca, a água é extraída do tubo, criando um vácuo que é registrado no medidor do instrumento. Ouanto mais seco o solo estiver, maior será a leitura. Em contrapartida, quando o solo se umedece, a água entra no tubo, aproximando a leitura de zero. O tensiômetro permite avaliar o esforço que a planta realiza para absorver água do solo. Existem diferentes modelos de tensiômetros, dentre os quais destaca-se o equipado com vacuômetro devido à sua praticidade (Figura 10.8).



Figura 10.8. Tensiômetro com vacuômetro para aferição da tensão crítica de água no solo.

Para determinar a tensão crítica de irrigação, é recomendada a instalação de tensiômetros na profundidade média das raízes e em níveis mais profundos, para monitorar as perdas de água. As leituras dos tensiômetros, associadas à curva de retenção de água do solo, permitem definir o momento ideal de irrigar e a quantidade necessária de água, garantindo maior precisão e eficiência no manejo hídrico (Pereira et al., 2018; Aviz et al., 2019; Santos et al., 2020).

Para definir a curva de retenção de água no solo, faz-se necessário coletar amostras indeformadas na profundidade em que serão instalados os tensiômetros. O tempo de funcionamento do sistema de irrigação é calculado com base nas leituras dos tensiômetros instalados na profundidade das raízes para monitorar a lâmina de água a ser aplicada, garantindo que a irrigação eleve a umidade do solo à sua capacidade de campo (quantidade máxima de água retida no solo). A maioria dos tensiômetros fornece leituras em bar, as quais deverão ser convertidas para kPa (multiplicando-se o valor por 100) e ajustadas para a profundidade desejada, calculando-se corretamente a tensão da água no solo, conforme a Equação 10.3.

$$\Psi = L - 0.098 * h$$
 (10.3)

em que

 Ψ = tensão da água no solo (kPa).

L = leitura no vacuômetro (kPa).

h = comprimento do tensiômetro (cm).

Por meio do modelo matemático de Genuchten (1980), realiza-se a estimava do teor de umidade atual no solo em função da tensão de água no solo, ajustando-se a Equação 10.4.

$$\theta = \theta r + \left\{ \frac{\theta s - \theta r}{\left[1 + (\alpha * |\Psi|)^n \right]^m} \right\}$$
 (10.4)

em que

 θ = umidade volumétrica atual do solo no momento de irrigar (cm³/cm³).

 θr = umidade volumétrica residual (cm³/cm³).

 θ s = umidade volumétrica na saturação (cm³/cm³).

 Ψ = tensão de água no solo (kPa).

 $m, n \in \alpha = \text{parâmetros de ajuste, sendo m} = 1-1/n$ (Mualem, 1976).

Com as umidades observadas nas tensões e a capacidade de campo na profundidade das raízes, calcula-se a lâmina de reposição (Equações 10.5 e 10.6) e o tempo de irrigação por meio da Equação 10.7 (Cabello, 1996).

$$LL = (\theta_{CC} - \theta) * Z \tag{10.5}$$

em que

LL = lâmina líquida de irrigação (mm).

 θ_{cc} = umidade do solo na capacidade de campo (cm³/cm³).

 θ = umidade atual do solo no momento de irrigar (cm³/cm³).

Z = profundidade efetiva do sistema radicular

$$LB = \frac{LL}{Ef} \tag{10.6}$$

em que

LB = lâmina bruta de irrigação (mm).

LL = lâmina líquida de irrigação (mm).

Ef = eficiência de aplicação (decimal).

Para cada tipo de sistema de irrigação é empregado um intervalo de eficiência de aplicação de água (Ef), como demonstrado na Tabela 10.2.

Tabela 10.2. Eficiência de aplicação para diferentes sistemas de irrigação.

Método de irrigação	Sistema de irrigação	Eficiência (%)
Superfície	Bacias em nível	60–80
	Sulcos	60-80
	Pulso (surge flow)	65–80
	Faixas	55–75
	Sulcos corrugados	40–55
	Linear move	75–90
	Pivô central de baixa pressão	75–90
A	Aspersão fixo	70–85
Aspersão	Pivô central de alta pressão	65–80
	Aspersão portátil	60–75
	Alto propelido	60–70
		Continua

Tabela 10.2. Continuação.

Método de irrigação	Sistema de irrigação	Eficiência (%)	
	Gotejamento superficial	85–95	
Microirrigação	Gotejamento enterrado	85–95	
	Microaspersão	85–90	

Fonte: Morris e Lynne (2006).

$$Ti = \frac{LB}{Ia} \tag{10.7}$$

em que

Ti = tempo de irrigação (horas).

LB = lâmina bruta de irrigação (mm).

la = intensidade de aplicação de água dos emissores (mm/h).

A intensidade de aplicação (la) é calculada por meio da Equação 10.8:

$$Ia = \frac{Qe}{Am} \tag{10.8}$$

em que

la = intensidade de aplicação (mm/h).

Qe = vazão do emissor (mm/h).

 $Am = \text{área molhada (m}^2)$.

O manejo consiste em irrigar todas as vezes que a tensão de água do solo (Ψ) atingir um valor crítico. O estudo realizado por Aviz (2021), aplicando a técnica de manejo da irrigação por tensiometria na cultura do coqueiro (*Cocos nucifera* L.) sob as condições ambientais do Nordeste Paraense, apresentou como resultado uma tensão crítica de 15 kPa.

Utilizando as informações dessa pesquisa como exemplo de manejo de irrigação via solo, podemos calcular a lâmina líquida, a lâmina bruta e o tempo de irrigação para a tensão crítica de 15 kPa da sequinte forma:

Profundidade efetiva do sistema radicular (Z) = 30 cm

Umidade na capacidade de campo ($\theta_{CC} = 0.200 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$

Umidade atual do solo (θ) (tensão crítica – 15 kPa) = 0,168 cm³/cm³

Vazão do emissor (Qe) = 100 L/h

Diâmetro molhado (Dm) = 8,4 m \rightarrow Am = π * R^2 = 3,1415 * (4,2)² = 55,42 m²

Eficiência do sistema (Ef) = 85%

$$LL = (\theta_{cc} - \theta) * Z = (0,200 - 0,168) * 300 = 9,6 \text{ mm}$$

$$LB = \frac{LL}{Ff} = \frac{9.6}{0.85} = 11.29 \text{ mm}$$

$$Ia = \frac{100}{55.42} = 1,80 \text{ mm/h}$$

$$Ti = \frac{LB}{Ia} = \frac{11,29}{1.80} = 6,27 \text{ h}$$

Observa-se que, mediante um déficit hídrico de 3,2% (0,032 cm³/cm³), há necessidade de se aplicar cerca de 11,29 mm para repor a umidade do solo até a sua capacidade de campo. Além disso, cada planta receberá em torno de 626 L de água (LB * Am), durante um tempo de irrigação de 6 horas e 16 minutos com um emissor de 100 L/h.

Manejo via clima

A precipitação pluvial (chuva) é a principal fonte de água para o solo, mas seu armazenamento depende de fatores como teor de argila, matéria orgânica, cobertura do solo, além de condições meteorológicas que influenciam diretamente a evapotranspiração. O manejo da irrigação baseado nas condições climáticas fundamenta-se na estimativa da evapotranspiração diária da cultura.

O regime pluviométrico na Amazônia é mais intenso entre dezembro e maio, com uma redução nos índices de chuva de junho a novembro (Medeiros, 2022). Entretanto, apresenta grande variabilidade espacial e volumétrica, ocorrendo até seis faixas que variam entre 1.750 e mais de 3.000 mm ao ano (Alvares et al., 2014), podendo, no período de menor precipitação, ser observados acúmulos mensais inferiores a 70 mm, dependendo do local e das fases do El Niño.

Na técnica de manejo da irrigação via clima, as informações coletadas de determinadas variáveis climáticas (temperatura, umidade, vento, radiação solar e chuva) são utilizadas para estimar o requerimento de água das plantas por meio da evapotranspiração de referência (ET₀) utilizando-se modelos empíricos como Penman-Monteith (FAO 56), Tanque Classe A, Thornthwaite, Camargo e Hangreves & Samani. Contudo, neste capítulo, serão abordados os principais métodos de estimativa da ET₀, sendo estes Tanque Classe A e método de Penman-Monteith (FAO 56).

Penman-Monteith (FAO 56)

A influência do clima na reposição eficiente de água para as plantas é refletida pela evapotranspiração de referência (ET₀). Atualmente, o uso de modelos matemáticos é o processo mais comum e usual para estimar a ET₀, embora muitas vezes apresentem problemas de precisão (erros de leituras e precisão dos sensores) e seus parâmetros sejam limitados a representar apenas regiões específicas ao modelo, devido à grande variabilidade climática existente.

Em razão disso, a FAO em parceria com a Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID) recomendaram em seu boletim 56 (Allen et al., 1998), como modelo padrão para estimativa da evapotranspiração de referência, o método de Penman-Monteith, que pode ser expresso por meio da Equação 10.9.

$$ET_{o} = \frac{0,408*s*(Rn-G) + \frac{\gamma*900*U_{2}*(e_{s}-e_{o})}{T+275}}{s+\gamma*(1+0,34*U_{2})}$$
(10.9)

em que

 ET_0 = evapotranspiração de referência (mm/dia).

Rn = radiação líquida total diária (MJ/m²/d).

G = fluxo de calor no solo.

y = constante psicrométrica (0,063 kPa/°C).

T = temperatura média do ar (°C).

 U_2 = velocidade do vento a 2 m (m/s), sendo cerca de 75% do valor da velocidade medida a 10 m de altura em posto meteorológico.

e = pressão de saturação de vapor (kPa).

 e_a = pressão parcial de vapor (kPa).

s = declividade da curva de pressão de vapor na temperatura do ar (kPa/°C).

A principal problemática no uso desse método está na necessidade de informações de um grande número de variáveis, como evidenciado pela Equação 10.8. No entanto, é possível obter o valor de ET₀ diretamente de estações meteorológicas automáticas, condicionando ao irrigante maior praticidade junto ao manejo via clima.

Como descrito anteriormente, conhecendo-se a evapotranspiração de referência pode-se estimar a evapotranspiração da cultura (ET_c) ou simplesmente a lâmina líquida (LL) de irrigação através da Equação 10.10.

$$LL = ET_c = ET_0 * Kc (10.10)$$

em que

LL = lâmina líquida (mm).

ET_c = evapotranspiração da cultura (mm/dia).

 ET_0 = evapotranspiração de referência (mm/dia).

Kc = coeficiente de cultura (adimensional).

Caso ocorra chuva entre os intervalos de irrigação, há necessidade de incluir na Equação 10.10 a diferença da precipitação efetiva (Pe) (Equação 10.11).

$$LL = ET_c = ET_o * Kc - Pe$$
 (10.11)

Como elucidado na Equação 10.10, a lâmina líquida de irrigação (LL) representa a quantidade de água necessária para atender às exigências da cultura, visando ao alto rendimento produtivo. No entanto, fatores como evaporação, perdas no sistema de aplicação, características da cultura e o manejo de extração de água, exigem ajustes na LL. Para tanto, deve-se calcular a lâmina bruta (LB) utilizando-se a Equação 10.6 e, por fim, o tempo de irrigação (Ti), por meio da Equação 10.7.

Tanque Classe A

Para aplicação do método do Tanque Classe A no manejo da irrigação via clima, utiliza-se um evaporímetro para aferir a evaporação direta (evapotranspiração). O tanque deve respeitar padrões de diâmetro e altura estabelecidos internacionalmente. Além disso, o acessório deve ser fabricado em

chapa de aço inoxidável ou galvanizado, visualizado através da Figura 10.9.



Figura 10.9. Aferição do volume de água evaporado em Tanque Classe A, para manejo da irrigação no Nordeste Paraense.

Fonte: Lima (2016).

Esse método determina a evapotranspiração de referência (ET₀) por meio da evaporação do tanque classe A (ECA) ajustada por um coeficiente, denominado de coeficiente do tanque classe A (Equação 10.12).

$$ET_{o} = Kp * ECA$$
 (10.12)

em que

 ET_0 = evapotranspiração de referência (mm). Kp = coeficiente do tanque classe A (adimensional).

ECA = evaporação do tanque classe A (mm).

O coeficiente do tanque (Kp) varia conforme as condições climáticas (umidade relativa e velocidade do vento) e a bordadura do tanque. O valor de Kp pode ser determinado por meio da Equação 10.13, descrita por Snyder (1992), ou de forma simplificada conforme Tabela 10.3 (Doorenbos; Pruitt, 1977). Todavia, ambas as determinações de Kp são fundamentadas na umidade relativa (UR), velocidade do vento (v) e comprimento da bordadura (F) do tanque.

 $Kp = 0.482 + 0.0553*log log(F) - 0.001354*V_{v} + 0.0045*UR$ (10.13)

em que

Kp = coeficiente do tanque classe A (adimensional).

F = comprimento da bordadura (m).

 $V_{..}$ = velocidade do vento (m/s).

UR = umidade relativa do ar média (%).

Tabela 10.3. Coeficiente do tanque (Kp) para Tanque Classe A.

		Ta	nque sobre grai	na	Tai	nque sobre solo	nu
Vento (m/s)	Bordadura - (m) -	Umidade relativa do ar					
(111/3)	(111) –	< 40%	40 a 70%	> 70%	< 40%	40 a 70%	> 70%
< 2,0	1	0,55	0,65	0,75	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	0,55	0,65	0,75
	1.000	0,75	0,85	0,85	0,50	0,60	0,70
2,0 a 5,0	1	0,50	0,60	0,65	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	0,50	0,60	0,65
	1.000	0,70	0,80	0,80	0,45	0,55	0,60
5,1 a 8,0	1	0,45	0,50	0,60	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	0,50	0,55	0,65
	100	0,60	0,65	0,70	0,45	0,50	0,60
	1.000	0,65	0,70	0,75	0,40	0,45	0,55
> 8,0	1	0,40	0,45	0,50	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	0,40	0,45	0,50
	1.000	0,55	0,60	0,65	0,35	0,40	0,45

Fonte: Doorenbos e Pruitt (1977).

A manutenção do volume de água no tanque é um fator primordial para o sucesso do manejo da irrigação por meio desse método, uma vez que erros de leitura são geralmente atribuídos a condições de enchimento total do tanque, gerando prováveis perdas de água pela ação do vento, assim como não pelo nível baixo da lâmina de água no tanque, o que proporciona elevação da temperatura interna. Por fim, para a determinação de LL, LB e Ti, deve-se utilizar, respectivamente, as Equações 10.10, 10.6 e 10.7.

Além dos métodos mencionados, os dados necessários para a estimativa da ET₀ podem ser obtidos gratuitamente no site do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), selecionando a estação mais próxima da localidade desejada (Figura 10.10) e posteriormente realizando o download da tabela de dados.



Figura 10.10. Rede de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) 2024. Fonte: Inmet (2025).

Balanço hídrico climatológico na região Nordeste Paraense

Estudar o balanço hídrico climatológico de uma região é de extrema relevância para entender suas condições reais de irrigação. O balanço hídrico permite determinar o período ideal para irrigação, sendo uma ferramenta essencial para o uso eficiente da água. A partir desse estudo, é possível identificar os períodos de reposição hídrica do solo, avaliar o déficit e o excedente de água, além de monitorar a precipitação, otimizando a gestão dos recursos hídricos na região.

balanço hídrico pode determinar os ganhos e perdas de água no solo, tornando-se importante para economia de água na irrigação e entender as necessidades específicas das culturas, o que pode, por sua vez, contribuir para o aumento da produção do açaizeiro. Conforme apresenta a Figura 10.11, é possível identificar o início e o fim da estação chuvosa no Nordeste Paraense. A estação chuvosa começa em novembro e dezembro, com o período de excedente hídrico ocorrendo entre janeiro e maio, atingindo um pico máximo de 508 mm de água no solo em fevereiro. A partir de maio e junho, os índices de precipitação reduzem-se para, respectivamente, 243 e 227 mm. O período de estiagem na região inicia em julho e se estende até novembro, com outubro e novembro registrando os maiores déficits de água.

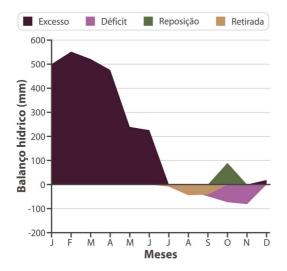


Figura 10.11. Extrato do balanço hídrico mensal no Nordeste Paraense, 2020–2021.

Fonte: Medeiros (2022).

As informações apresentadas na Figura 10.11 ressaltam a importância e necessidade do uso da irrigação suplementar no estado do Pará durante o segundo semestre, especialmente para a cultura do açaizeiro, que possui alta demanda hídrica durante o ano todo. Longos períodos de deficiência de água no solo podem impactar de maneira direta as trocas gasosas e as respostas fisiológicas das palmeiras (Aviz et al., 2019; Medeiros, 2022).

A redução da fotossíntese em plantas sob seca pode ocorrer por limitações estomáticas e bioquímicas, causadas pela diminuição da abertura dos estômatos, devido ao aumento de ácido abscísico nas raízes em resposta à falta de água (Taiz; Zeiger, 2013; Bellasio et al., 2018; Gimeno et al., 2019). No entanto, estudos mostram que palmeiras têm capacidade de recuperação após o déficit hídrico, mobilizando reservas para manter o metabolismo durante o período sob estresse (Aviz, 2021; Medeiros, 2022).

Considerações finais

O uso adequado da irrigação na cultura do açaizeiro é essencial para que a planta pos-

sa expressar seu máximo potencial produtivo, evitando desperdícios de água e energia. Quando realizado corretamente e de maneira racional, o manejo da irrigação gera benefícios ambientais e financeiros ao produtor, aumentando a rentabilidade por meio da melhoria na produtividade e qualidade dos frutos. Há diversas técnicas disponíveis para o manejo racional da irrigação, cabendo ao produtor irrigante escolher a que melhor se adequa às suas condições técnicas e socioeconômicas.

Referências

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).

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Kappen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

AROCA, R. (ed.). **Plant responses to drought stress**: From Morphological to Molecular Features. Berlin: Springer, 2012. 466 p.

AVIZ, W. L. C. **Produção de coco verde (Cocus nucifera, L.) submetido a manejo de irrigação por tensiometria e fertirrigação**. 2021. 82 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA.

AVIZ, W. L. C.; LIMA JUNIOR, J. A.; SILVA, A. L. P.; GOMES, R. F.; SOUZA, R. O. R. M. E.; SANTOS, H. C. A.; OLIVEIRA, P. D. Productivity of jambu (*Acmella oleracea*) using different soil water tensions and nitrogen rates under greenhouse condition. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 3, p. 360-366, 2019.

BARNES, A. P.; HANSSON, H.; MANEVSKA-TASEVSKA, G.; SHRESTHA, S. S.; THOMSON, S. G. The influence of diversification on long-term viability of the agricultural sector. **Land Use Policy**, v. 49, p. 404-412, 2015.

BASTOS, T. X.; OLIVEIRA, M. do S. P. de; PACHECO, N. A.; MULLER, A. A. Indicativo climático para o cultivo do açaizeiro em ambiente de terra firme no Estado do Pará: 1a aproximação. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 4 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado técnico, 159).

BELLASIO, C.; QUIRK, J.; BEERLING, D. J. Stomatal and non-stomatal limitations in savanna trees and C4 grasses grown at low, ambient and high atmospheric CO₂. **Plant Science**, v. 274, p.181-192, 2018.

CABELLO, F. P. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudasión**. 3. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1996. 511 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Rome: FAO, 1994. 306 p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, n. 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. (FAO irrigation and drainage paper 24. Land and Water Development Division, v. 144, n. 1).

ENDRES, L.; SOUZA, J. L. de; TEODORO, I.; MARROQUIM, P. M. G.; SANTOS, C. M. dos; BRITO, J. E. D. de. Gas exchange alteration caused by water deficit during the bean reproductive stage. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 14, n. 1, p.11-16, 2010.

FARIAS NETO, J. T. **BRS Pai d'Égua**: cultivar de açaí para terra firme com suplementação hídrica. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2019. 7 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado técnico, 317).

FAO. **The State of Food and Agriculture 2020**: Overcoming water challenges in agriculture. Roma, 2020.

GENUCHTEN, M. T. van. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

GIMENO, T. E.; SAAVEDRA, N.; OGÉE, J.; MEDLYN, B. E.; WINGATE, L. A novel optimisation approach incorporating non-stomatal limitations predicted stomatal behaviour on species from six plant functional types. **Journal of Experimental Botany**, v. 70, n. 5, p. 1639-1651, 2019.

HOMMA, A. K. O.; NOGUEIRA, O. L.; MENEZES, A. J. E. A. de; CARVALHO, J. E. U. de; NICOLI, C. M. L.; MATOS, G. B. de. Açaí: novos desafios e tendências. **Amazônia**: Ciência e Desenvolvimento, v. 1, n. 2, p. 7-23, 2006.

HOMMA, A. K. O.; CARVALHO, J. E. U. de; MENEZES, A. J. E. A. de; FARIAS NETO, J. T. de; MATOS, G. B. de. Custo operacional de açaizeiro irrigado com microaspersão no município de Tomé-Açu. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. 7 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado técnico, 219).

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. 2025. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/. Acesso em: 12 maio 2025.

LESSA, L. C. R.; LEMOS, J. de J. S.; TABOSA, F. J. S.; MENDES, F. A. T.; BEZERRA, F. N. R. Estabilidade da agricultura alimentar de sequeiro da Paraíba frente às instabilidades pluviométricas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 62, n. 3, e274633, 2024.

LIMA, V. M. A Produção e análise econômica de pimentinha verde (*Capsicum chinenses J.*) submetida a diferentes lâminas de irrigação na região Nordeste Paraense. 2016. 44 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA.

LIMA JUNIOR, J. A.; PEREIRA, G. M.; GEISENHOFF, L. O.; SILVA, W. G.; VILAS BOAS, R. C.; SOUZA, R. J. Desempenho de cultivares de cenoura em função da água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 514-520, 2012.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. Irrigação princípios e métodos. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2009. 355 p.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Irrigação e fertirrigação na cultura do pimentão. In: SOUSA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (ed.). Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2014. p. 719-738.

MARTINS, J. S. Manejo da irrigação e seu efeito na produtividade e no rendimento de óleo essencial da pimenteira-do-reino na Microrregião de Castanhal, Pará. 2024. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA.

MEDEIROS, M. B. C. L. **Fisiologia e produção do coqueiro (***Cocos nucifera*, **L.) submetido a irrigação e fertirrigação no Nordeste Paraense**. 2022. 122 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA.

MORRIS, M.; LYNNE, V. **Measuring and conserving irrigation water**. Butte: NCAT, 2006. 12 p. Disponível em: www.attra.ncat.org/attra-pub/irrigation_water.html. Acesso em: 4 abr. 2025.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity in unsaturated porous media. **Water Resources Research**, v. 12, n. 3, p. 513-522, 1976.

NOGUEIRA, O. L.; FIGUEIREDO, F. J. C.; MULLER, A. A. (ed.). **Açaí**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 137 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Sistemas de produção, 4).

OLIVEIRA, M. do S. P. de; FARIAS NETO, J. T. de. **Cultivar BRS-Pará**: açaizeiro para produção de frutos em terra firme. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 4 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado técnico, 114).

OLIVEIRA, M. do S. P. de; CARVALHO, J. E. U. de; NASCIMENTO, W. M. O. do; MULLER, C. H. **Cultivo do açaizeiro para produção de frutos**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2002. 19 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Circular técnica, 26).

PEREIRA, M. E. M.; LIMA JUNIOR, J. A. de; LIMA, V. M.; GUSMÃO, S. A. L. de; OLIVEIRA, P. D. de; SILVA, A. L. P. da. Viabilidade econômica da produção de couve-flor irrigada por gotejamento no Nordeste Paraense. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 61, p.1-8, 2018.

ROCHA, S. M. B. de M. Benefícios funcionais do açaí na prevenção de doenças cardiovasculares. **Journal of Amazon Health Science**, v. 1, n. 1, p. 1-10, 2015.

ROSA, L.; CHIARELLI, D. D.; RULLI, M. C.; DELL'ANGELO, J. Global Agricultural economic water scarcity. **Science Advances**, v. 6, n. 18, eaaz6031, 2020.

SANTOS, H. C. A. Mecanismos fisiológicos de resposta a disponibilidade hídrica e suas relações com o crescimento e produtividade de cultivares de pimenteira-do-reino em ambiente Amazônico. 2023. 186 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA.

SANTOS, H. C. A.; LIMA JUNIOR, J. A.; SILVA, A. L. P.; CASTRO, G. L. S.; GOMES, R. F. Yield of fertigated bell pepper under different soil water tensions and nitrogen fertilization. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 172-183, 2020.

SHRESTHA, S.; BHATTA, B.; SHRESTHA, M.; SHRESTHA, P. K. Integrated Assessment of the Climate and landuse change impact on hydrology and water quality in the Songkhram River Basin, Thailand. **Science of The Total Environment**, v. 643, p. 1610-1622, 2018.

SILVA, V. de P. R. da; SILVA, B. B. da; BEZERRA, J. R. C.; ALMEIDA, R. S. R. Consumo hídrico e viabilidade econômica da cultura do feijão caupi cultivado em clima semiárido. **Irriga**, v. 21, n. 4, p. 662-672, 2016.

SOUSA, L. A. S.; JARDIM, M. A. G. Sobrevivência e mortalidade de mudas de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) cultivadas em capoeira no Nordeste Paraense. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 10, p. 255-257, 2007.

SOUZA, P. J. de O. P. de; SILVA, E. R. R.; SILVA, B. B. da; FERREIRA, T. R.; SOUSA, D. de P.; LUZ, D. B. da; ADAMI, M.; SOUSA, A. M. L. de; NUNES, H. G. G. C.; FERNANDES, G. S. T.; PINTO, J. V. de N.; FARIAS, V. D. da S.; OLIVEIRA, I. A. de; SILVA, S. A. S. da; COSTA, J. F.; RUA, M. L.; COSTA, D. L. P.; MOURA, V. B.; LIMA, M. J. A. de; SANTOS, J. E. O.; SOUSA, A. J. da S.; ORTEGA-FARIAS, S. Estimation of the evapotranspiration of irrigated açaí (*Euterpe oleracea* M.), through the surface energy balance algorithm for land—SEBAL, in Eastern Amazonia. **Water**, v. 15, n. 6, p.1073-1095, 2023.

SOUZA, R. O. R. de M.; PANTOJA, A. V.; AMARAL, M. C. M. do; PEREIRA NETO, J. A. Cenário da agricultura irrigada no Estado do Pará. **Irriga**, v. 17, n. 2, p. 177-188, 2012.

SOUZA, R. O. R. de M.; AMARAL, M. A. C. M. do; SILVESTRE, W. V. D.; SACRAMENTA, T. M. Avaliação econômica da irrigação em pomares de açaí. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 7, n. 1, p. 54-65, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TREVISAN, A. C. D.; FANTINI, A. C.; SCHMITT-FILHO, A. L.; FARLEY, J. Market for Amazonian Açaí (*Euterpe oleraceae*) stimulates pulp production from Atlantic Forest Juçara Berries (Euterpe edulis). **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 39, n. 7, p. 762-781, 2015.

VIANA, L. F.; HOMMA, A. K. O.; MENEZES, A. J. E. A. de; SANTOS, J. C. dos; FARIAS NETO, J. T. Viabilidade econômica do cultivo de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) irrigado no nordeste paraense. **International Journal of Delopment Research**, v. 10, n. 08, Article ID: 19655, p. 39177-39182, 2020.

VIANA, L. F.; HOMMA, A. K. O.; MENEZES, A. J. E. A. de; SANTOS, J. C. dos; FARIAS NETO, J. T.; PENA, H. W. A. Análise econômica do cultivo de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) irrigado no nordeste paraense. **Revista Terceira Margem Amazônia**, v. 7, n. 17, p. 155-169, 2021.

YAMAGUCHI, K. K. de L.; PEREIRA, L. F. R.; LAMARÃO, C. V.; LIMA, E. S.; VEIGA-JUNIOR, V. F. da. Amazon acai: chemistry and biological activities: a review. **Food Chemistry**, v. 179, p. 137-151, 2015.

YANG, D.; LI, S.; KANG, S.; DU, T.; GUO, P.; MAO, X.; TONG, L.; HAO, X.; DING, R.; NIU, J. Effect of drip irrigation on wheat evapotranspiration, soil evaporation and transpiration in Northwest China. **Agricultural Water Management**, v. 232, Article 106001, 2020.

