

Irrigação da bananeira

Eugênio Ferreira Coelho
Editor Técnico



Embrapa

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Mandioca e Fruticultura
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Irrigação da bananeira

Eugênio Ferreira Coelho

Editor Técnico

Embrapa
Brasília, DF
2012

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Mandioca e Fruticultura

Rua Embrapa - s/nº, Caixa Postal 007

44380-000, Cruz das Almas, Ba

Fone: (75) 3312-8048

Fax: (75) 3312-8097

www.cnpmf.embrapa.br

Unidade responsável pelo conteúdo e edição

Embrapa Mandioca e Fruticultura

Comitê Local de Publicações da Embrapa Mandioca e Fruticultura

Presidente: *Aldo Vilar Trindade*

Secretária-executiva: *Maria da Conceição Pereira Borba dos Santos*

Membros: *Ana Lúcia Borges*

Cláudia Fortes Ferreira

Eduardo Girardi

Fernando Haddad

Herminio Souza Rocha

Marcio Eduardo Canto Pereira

Paulo Ernesto Meissner Filho

Augusto César Moura da Silva

Coordenação editorial: *Eugênio Ferreira Coelho*

Revisão de texto: *Cristiane Almeida Santana da Costa*

Normalização bibliográfica: *Lucidalva Ribeiro Gonçalves Pinheiro*

Projeto gráfico, editoração eletrônica e capa: *Anapaula Rosário Lopes*

Fotos da Capa: *Eugênio Ferreira Coelho*

1ª edição

Online (2012)

Todos os direitos reservados

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Mandioca e Fruticultura

Irrigação da bananeira / editor técnico, Eugênio Ferreira Coelho. - Brasília, DF : Embrapa, 2012.
280 p. : il.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web;
<http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/livro/Irigacao_Da_Bananeira_internet.pdf>.
Título da página web (acesso em 20/2/2013)

ISBN 978-85-7035-165-4

1. Irrigação 2. Banana. 3. Cultivo de banana. I. Coelho, Eugênio Ferreira II. Embrapa Mandioca e Fruticultura.

CDD 631.587

© Embrapa, 2012

Autores

Alisson Jadavi Pereira da Silva

Engenheiro-agrônomo, MSc. em Irrigação e Drenagem, professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – Campus Senhor do Bonfim, Senhor do Bonfim, BA, alissonagr@gmail.com

Alessandro Magalhaes Arantes

Engenheiro-agrônomo, M.Sc. em Ciência e Tecnologia de Sementes, professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – Campus Guanambi, Guanambi, BA, arantes2005@yahoo.com.br

Artenis Jarcel Souza Cruz

Engenheiro-agrônomo, M.Sc. em Produção Vegetal no semi-árido, Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba MG, artenis.jarcel@yahoo.com.br

Carlos Elízio Cotrim

Engenheiro-agrícola, D.Sc. em Engenharia Agrícola, professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – Campus Guanambi, Guanambi, BA, c-cotrim@hotmail.com

Eugênio Ferreira Coelho

Engenheiro-agrícola, Ph.D em Engenharia de Irrigação, pesquisador da Embrapa Mandioca e Fruticultura, Bolsista PQ-CNPq, Cruz das Almas, BA, eugenio@cnpmf.embrapa.br

Flávio da Silva Costa

Licenciado em Ciências Agrárias, MSc. em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Campina Grande, PB, flaviocostapb@yahoo.com.br

José Antonio do Vale Sant'Ana

Engenheiro-agrônomo, MSc. em Recursos Hídricos e Sistemas Agrícolas, Universidade Federal de Lavras (DEG/UFLA), Lavras, MG, jantonio@posgrad.ufla.br

Pedro Ricardo Rocha Marques

Engenheiro-agrônomo, M.Sc. em Produção Vegetal no Semi-árido, professor substituto do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano - Campus Guanambi, Guanambi, BA, pedrounimontes@yahoo.com.br

Polyanna Mara de Oliveira

Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Engenharia Agrícola, pesquisadora da Unidade Regional do Norte de Minas (Epamig), Nova Porteirinha, MG, polyanna.mara@epamig.br

Sérgio Luiz Rodrigues Donato

Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Fitotecnia, professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – Campus Guanambi, Guanambi, BA, sergio.donato@guanambi.ifbaiano.edu.br

Waldir Aparecido Marouelli

Engenheiro-agrícola, Ph.D. em Engenharia Agrícola e de Biosistemas, pesquisador da Embrapa Hortaliças, Bolsista PQ-CNPq, Gama, DF, waldir@cnph.embrapa.br

Apresentação

O cultivo da bananeira (*Musa spp.*) no mundo está situado entre as latitudes 30°S e 30°N do Equador e as condições climáticas ótimas para o seu crescimento e desenvolvimento a latitudes acima de 15°. O Brasil em 2009 foi o quinto maior produtor de bananas do mundo (FAO, 2011), sendo que a região Nordeste representou 37,9% dessa produção (IBGE, 2011). Grande parte da área plantada com a cultura da bananeira no Brasil está em condições de sequeiro, onde as produtividades são significativamente inferiores às sob condição irrigada.

O uso da irrigação tem tido um incremento contínuo na cultura da bananeira, principalmente na região Nordeste. Apesar desse benefício, o uso de água pela irrigação deve ser feito de forma racional para que se consigam elevações substanciais na produtividade sem esgotamento excessivo dos recursos hídricos. Para isso, é necessário conhecer o comportamento da cultura da bananeira em diferentes condições climáticas quanto ao uso de água do solo, seu comportamento sob estresses hídricos e suas relações hídricas, em particular suas necessidades hídricas de forma geral sob condições subúmidas e semiáridas. É necessário também conhecer que tipo de sistema de irrigação é mais adequado para a cultura, as possíveis configurações deste, sua eficiência

de aplicação e melhor maneira de uso. É imprescindível o conhecimento do adequado manejo da irrigação, os critérios usados no manejo, os instrumentos para avaliar o sistema solo-água-planta-atmosfera, de maneira a definir o tempo adequado para a irrigação, e a quantidade de água aplicada no solo, com minimização das perdas por percolação ou escoamento superficial.

O presente material foi elaborado no sentido de disponibilizar informações e recomendações para atender as demandas citadas para a cultura da bananeira. As informações e recomendações são oriundas da literatura e de trabalhos com a cultura realizados pela Embrapa Mandioca e Fruticultura no período 1999-2010, na Unidade Regional do Norte de Minas-Epamig, nos projetos Gorutuba e Jaíba e no IFBAiano de Guanambi, no projeto Ceraíma representando condições subúmidas e semiáridas do Nordeste do Brasil.

Sumário

Capítulo 1.

Relações hídricas I: considerações fisiológicas e ecológicas 11

1. Introdução.....	13
2. Ciclo fenológico.....	16
3. Distribuição de raízes	20
4. Absorção de água.....	30
5. Transporte de nutrientes no solo e sua absorção.....	35
6. Exigências hídricas e térmicas.....	40
7. Estresse hídrico.....	42
8. Radiação solar, área foliar e produção	53
9. Vento.....	60
10. Umidade relativa	68
11. Exemplo de caso: variáveis fisiológicas da bananeira em condições semiáridas do Norte de Minas e Sudoeste da Bahia.....	69
12. Referências.....	77

Capítulo 2.

Relações hídricas II: Evapotranspiração e coeficientes de cultura 85

1. Introdução	87
2. Efeito do déficit hídrico na bananeira	88
3. Evapotranspiração da bananeira	90

4. Reposta da bananeira a diferentes níveis de água.....	105
4.1. Efeito da irrigação no crescimento da bananeira	105
4.2. Efeito da irrigação na produtividade da bananeira	108
5. Referências	113

Capítulo 3.

Métodos e sistemas de irrigação 119

1. Introdução	121
2. Método da irrigação por Superfície.....	122
2.1. Bacias em nível	123
2.2. Irrigação por Sulco.....	125
2.3. Irrigação por faixas	127
3. Método da aspersão	128
4. Irrigação Localizada.....	129
4.1. Configurações dos sistemas de irrigação localizada.....	132
5. Eficiência de aplicação de água de sistemas de irrigação	150
5.1. Eficiência de aplicação por sistemas de microaspersão.....	157
5.2. Eficiência de aplicação por sistemas de gotejamento	161
6. Distribuição de água no solo em sistemas de irrigação localizada.....	167
7. Avaliação de sistemas de irrigação	170
7.1. Irrigação localizada	170
7.2. Aspersão convencional	179
8. Referências	186

Capítulo 4.

Manejo da água de irrigação 191

1. Introdução	193
2. Considerações sobre o manejo de água de irrigação.....	195
3. Critérios de manejo da água de irrigação em bananeira	201
3.1. Critério com base em variáveis do estado da água no solo.....	201
3.2. Critério com base em variáveis do estado da água na planta	220
3.3. Critério com base em variáveis meteorológicas.....	221

4. Métodos de manejo da água de irrigação	224
4.1. Método do turno de rega e lâmina de irrigação fixos	225
4.2. Método com base no critério da faixa de disponibilidade de água do solo	252
4.3. Método do balanço de água na zona radicular da planta.....	255
5. Manejo de irrigação com água salina.....	263
6. Tempo de irrigação.....	267
6.1. Horário da irrigação.....	272
7. Referências.....	275



1

Sérgio Luiz Rodrigues Donato
Eugênio Ferreira Coelho
Alessandro de Magalhães Arantes
Carlos Elízio Cotrim
Pedro Ricardo Rocha Marques

Relações hídricas I: considerações fisiológicas e ecológicas

Capítulo 1

Relações hídricas I: considerações fisiológicas e ecológicas

Sérgio Luiz Rodrigues Donato
Eugênio Ferreira Coelho
Alessandro de Magalhães Arantes
Carlos Elízio Cotrim
Pedro Ricardo Rocha Marques

1. Introdução

A bananeira de frutos comestíveis (*Musa spp.*) tem como centro de origem primário a Ásia. Os Centros de origem secundários localizam-se na África Oriental e Ocidental e em algumas ilhas do Pacífico, regiões com clima tropical quente e úmido (SHEPHERD, 1984).

O cultivo da bananeira no mundo está situado entre as latitudes 30° S e 30° N do Equador e as condições climáticas ótimas para o seu crescimento e desenvolvimento encontradas entre 15° de latitude ao Sul e ao Norte do Equador (SOTO BALLESTERO, 1992). Apesar disso, existem cultivos nos subtrópicos frios ou nos trópicos semiáridos, onde são comuns períodos no ano com temperaturas baixas ou estresses por

calor e falta de água que limitam o potencial produtivo. No Brasil, a atividade é desenvolvida em ecossistemas variados, com predominância de diferentes fatores de estresse abióticos.

As plantas utilizam água em grande quantidade, consequência direta da absorção de CO₂ para a fotossíntese. A maior parte da água absorvida pelas raízes (~97,00%) é transportada pela planta e evaporada das superfícies foliares por transpiração, enquanto uma pequena parte (~2,00%) permanece na planta para atender as demandas de crescimento, da fotossíntese e de outros processos metabólicos (~1,00%) (TAIZ ; ZEIGER, 2009).

Plantas sob déficit hídrico sofrem perturbações nas relações hídricas, na absorção de nutrientes, inibição no crescimento, no ciclo fenológico, na fotossíntese e no rendimento. A sensibilidade de um determinado processo fisiológico a déficits hídricos é, em grande parte, reflexo da estratégia da planta em lidar com a variação de disponibilidade de água que ela experimenta em seu ambiente. O processo mais afetado pelo déficit hídrico é o da expansão celular, o que influencia diretamente o crescimento da planta, que é dependente do turgor celular, ou seja, do potencial de pressão (ψ_p) (TAIZ; ZEIGER, 2009).

É aceita a ideia que bananeiras requerem grandes quantidades de água para alta produção. O estresse hídrico provoca decréscimo da taxa de transpiração, da condutância estomática e da fotossíntese (ROBINSON; BOWER, 1987; KALLARACKAL et al., 1990; ECKSTEIN; ROBINSON, 1995; THOMAS; TURNER, 2001; MAHOUACHI, 2009). Entretanto, é afirmado na literatura que bananeiras mantêm seu *status*

hídrico interno durante a seca pela redução da exposição à radiação, fechamento dos estômatos e devido ao mecanismo de ajuste osmótico pelo aumento da concentração de minerais e ou solutos orgânicos na folha (MAHOUCI, 2009). Este autor observou pequena redução no conteúdo relativo de água da folha de 'Grande Naine' submetida à depleção gradual da umidade do solo, enquanto fotossíntese, transpiração e perímetro do pseudocaule decresceram drasticamente.

Sob condições de estresse hídrico há redução da área foliar e maior aprofundamento das raízes no solo em decorrência de mudança na razão parte aérea/raiz, alteração nos drenos preferenciais, dependente do grau de intensidade da seca (TAIZ; ZEIGER, 2009). O conhecimento da distribuição do sistema radicular da bananeira é fundamental para definir estratégias de uso racional da água, uma vez que as raízes se constituem como meio de fixação da planta no solo e como principal via de absorção de água e nutrientes.

Na fotossíntese, estresse por calor induz desintegração de grana, reduz transporte de elétrons, afeta a distribuição de energia, a organização estrutural das membranas dos tilacóides, a fluidez da membrana, o balanço iônico e diminui a atividade enzimática, limitando assim, o crescimento e produtividade da planta (LARCHER, 2000; TAIZ; ZEIGER, 2009).

O ótimo ecológico difere do ótimo fisiológico, e é função do ajuste da espécie às condições ambientais do sítio, solo e clima. O entendimento das respostas de tolerância da bananeira frente às condições de estresses abióticos, normalmente encontrados nas áreas de cultivo, é significativo para a adoção de estratégias de melhoramento genético e de manejo com

vistas ao incremento da produtividade da cultura. Assim, este capítulo objetiva discutir os efeitos da água e sua interação com os fatores temperatura, radiação solar, vento, umidade relativa do ar e nutrientes, no crescimento, desenvolvimento e produção da bananeira.

2. Ciclo fenológico

A bananeira é uma monocotiledônea herbácea gigante, da classe Liliopsida, subclasse Liliidae, superordem Lilinae, ordem Zingiberales (Scitamineae), família Musaceae, subfamília Musoideae, gênero *Musa*, seção Eumusa (Silva et al., 2002) originada de cruzamentos interespecíficos entre *Musa acuminata* Colla e *M. balbisiana* Colla, e apresenta por isso, características das duas espécies (SIMMONDS, 1973).

A bananeira não é uma planta perene, mas a touceira ou “família” sim. Pode ser cultivada por vários ciclos, variável com as condições ambientais e de manejo. Também, pode durar até dois ciclos, caso mais comum para as cultivares tipo Terra devido à maior ocorrência de nematóides e broca-da-bananeira (Moreira, 1999) e aos avanços tecnológicos, concernentes à densidade de plantio (BELALCÁZAR-CARVAJAL, 1991; ROSALES et al., 2008).

Soto Ballester (2008) denomina as fases do ciclo fenológico da bananeira, com terminologia de cunho popular, que embora não adotada na botânica convencional, é aceita na literatura internacional e de uso também pelos produtores, a exemplo de planta-mãe, planta-filha, fases infantil e juvenil (MOREIRA, 1999). Um modelo adaptado desse ciclo é apresentado na Figura 1. As fases ou estádios do ciclo são: I) Fase infantil: corresponde ao

período do plantio da muda, ou brotação da gema lateral, no caso de ciclo da planta-filha, até a emissão da folha "F10", folha cuja largura da lâmina foliar é cerca de 10 cm. Marca o início da independência da filha. Apresenta duração média de 100 dias. II) Fase juvenil: dura em média 90 dias. Termina com a emissão da primeira folha normal (Fm), folha com as dimensões mínimas características da cultivar. Identifica a época da diferenciação floral (DF), formação do cacho no interior do pseudocaule e marca o início da fase autônoma do filho. III) Fase reprodutiva: compreendida entre o início da diferenciação floral e a colheita do cacho (C). A fase de DF a F (florescimento) dura 125 dias em média. A etapa de F a C dura cerca de 90 a 100 dias para bananeiras tipo *Cavendish* e de 120 a 160 dias para bananeiras tipo Prata (DONATO et al., 2009). A duração total do ciclo é aproximadamente 400 dias.

Na fase infantil, o rebento depende da planta-mãe que exerce uma inibição hormonal sobre ele e mantém as folhas com formato lanceolado (MOREIRA, 1999). Para obtenção de boa produtividade, a bananeira deve emitir mais que oito folhas, na fase juvenil. A independência do filho acontece quando este apresentar vigor adequado. Entretanto, se a independência do filho ocorrer de forma abrupta, pela colheita da planta-mãe, e este se apresentar ainda pequeno, será uma planta adulta com baixa produção.

A emissão de raízes da planta-mãe paralisa na floração. A partir dessa fase, os filhos contribuem com mais intensidade com a absorção de água e nutrientes para a planta-mãe. Cavalcante et al. (2005) detectaram ininterrupta translocação de fósforo entre plantas mãe e filha, e vice-versa, aos dois, quatro e seis meses de idade da planta-filha. Os autores observaram que

a translocação do fósforo foi sempre mais intensa no sentido planta-filha para planta-mãe, notadamente aos dois meses de idade da planta-filha. Rodrigues et al. (2007) observaram alteração nos teores foliares de zinco e boro na planta mãe, originada de aplicações no rizoma via filho desbastado. Esse é um fenômeno lógico, pois os filhos são gemas laterais e a família um sistema integrado.

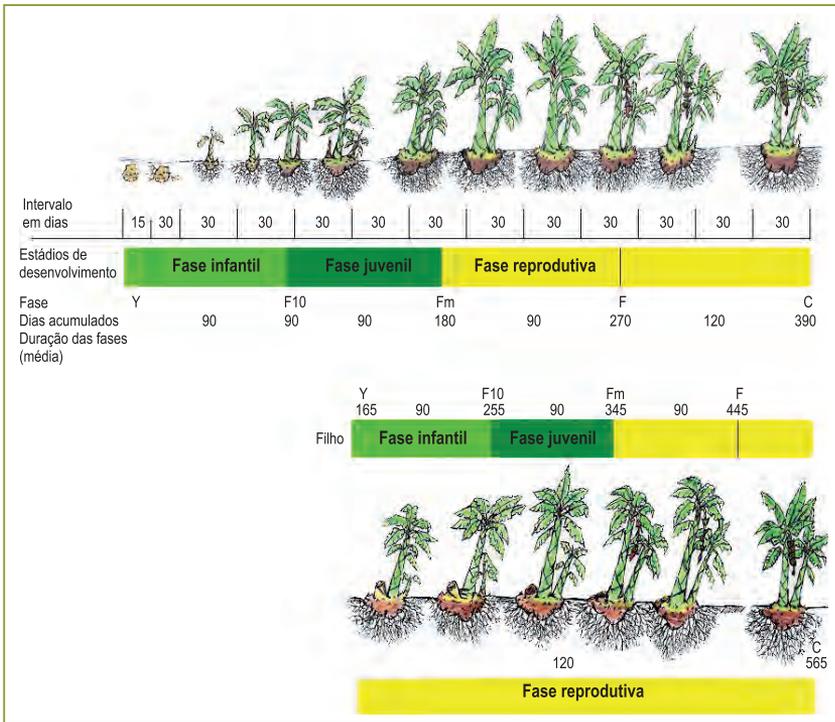


Ilustração: Pedro Ricardo Rocha Marques

Figura 1. Representação esquemática do ciclo da bananeira, com adaptações das durações dos estádios para bananeira tipo Prata. Y = gema, desenvolvimento da brotação lateral; F10 = Primeira folha com 10 cm de largura; Fm = Primeira folha adulta característica da cultivar, coincide com a diferenciação floral (DF); F = Emissão da inflorescência; C = Colheita do cacho.

Fonte: Denominações das fases ou estádios de desenvolvimento adaptadas de Soto Ballester (2008).

O conhecimento da dinâmica das relações fonte/dreno entre órgãos ao longo do ciclo de desenvolvimento da bananeira (Figura 2) possibilita a adoção de um manejo eficiente, visando diminuir a competição entre os diferentes órgãos em períodos críticos. Durante a fase juvenil, é crucial a interferência do agricultor quanto às práticas de irrigação e de adubação, particularmente nitrogenada e potássica, pois a quantidade de flores femininas definida na diferenciação floral é proporcional às folhas lançadas antes dessa fase, o que resultará em cachos com maior número de pencas (ROBINSON; GALÁN SAÚCO, 2010). O desbaste deve ser realizado no período compreendido entre

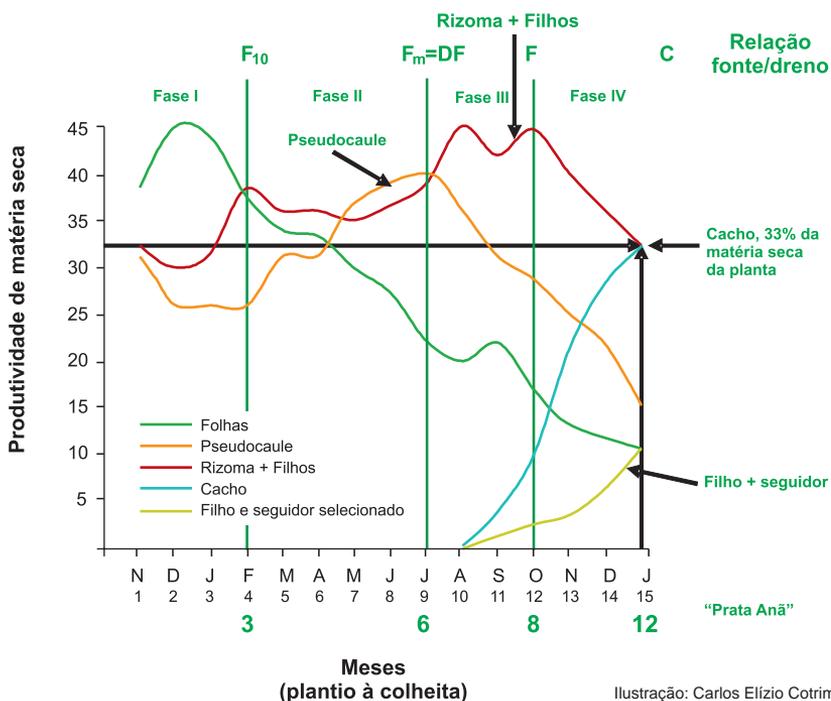


Figura 2. Distribuição percentual da matéria seca em bananeira durante os estádios do ciclo fenológico. Adaptação aproximada dos períodos para 'Prata-Anã'.

Fonte: Adaptado do original de Robinson; Galán Saúco (2010).

antes do final da fase juvenil até antes do florescimento. Desta maneira, o pico de dreno de assimilados do seguidor coincide com o do rizoma. O filho passa a ser independente e não compete diretamente com o desenvolvimento do cacho por assimilados disponíveis. A retirada de folhas velhas, sombreadas, quebradas e ou com lesões de sigatocas deve ter atenção especial a partir do florescimento, pois essas podem constituir-se em drenos, além de dificultar a refrigeração do bananal.

De forma simplificada, as fontes de fotoassimilados e nutrientes são inicialmente as folhas, somando-se ao rizoma posteriormente. Os seguidores constituem-se fonte de nutrientes minerais e água quando a planta mãe cessa seu crescimento radicular e foliar no florescimento (Figura 2). Na fase 1 (infantil), há grande acúmulo de matéria seca na folha, dreno preferencial. Na fase 2 (juvenil) o pseudocaulo passa ser o dreno principal, pois apresenta um grande desenvolvimento estrutural para suportar o cacho. Na fase 3 e início da fase 4, a matéria seca é alocada para o rizoma e filhos jovens. Depois do florescimento a matéria seca é realocada simultaneamente para o desenvolvimento do cacho e para o seguidor selecionado (fase 4). No momento da colheita o cacho representa 33,00% de toda a matéria seca da planta, caso específico de bananeiras *Cavendish* (ROBINSON; GALÁN SAÚCO, 2010). Durante a fase vegetativa os principais drenos são a folha e o rizoma e após o florescimento, o cacho.

3. Distribuição de raízes

O conhecimento da distribuição do sistema radicular da bananeira é fundamental para o uso racional da água, uma vez

que as raízes, além de se constituírem como meio de fixação da planta no solo, são a principal via de absorção de água e nutrientes.

As condições do solo e seu manejo influenciam a morfologia, a distribuição e o funcionamento do sistema radicular e da parte aérea, afetando as relações hídricas e a absorção de nutrientes na bananeira. O sistema radicular tem o crescimento prejudicado e muitas vezes *senesce* sob condições de excesso de umidade por períodos prolongados, hipoxia ou anoxia, falta de água, temperaturas supra e infraótimas e mesmo por danos mecânicos e biológicos por patógenos. Isso provoca um desbalanço hormonal e um desequilíbrio no desenvolvimento foliar que externa um sintoma conhecido como “arrepolhamento” (Figura 3) que pode causar prejuízos na produtividade da ordem de 40,00% ou mais (SOTO BALLESTERO, 2008). Os sintomas são semelhantes ao “engasgamento” ou obstrução foliar, e representam uma sintomatologia mais severa do “encouqueiramento” ou “envassouramento” com causa atribuída à deficiência de zinco.



Figura 3. Sintoma conhecido como “arrepolhamento” devido à perda do sistema radicular por danos mecânicos associado à diminuição de temperatura e deficiência hídrica moderada. Em ‘Prata-Anã’ (A); em ‘Nanica’, causado pela incorporação de adubos com uso de enxada (B e C). Perímetro Irrigado de Ceraíma, 2010.

Danos mecânicos ao sistema radicular, particularmente quando associados a estresses abióticos, dificultam o fluxo difusivo de zinco no solo e a absorção de água e nutrientes pela planta. O zinco está relacionado com a formação de auxina, hormônio responsável pelo crescimento, nos meristemas e tecidos jovens em divisão, especialmente na parte aérea (TAIZ; ZEIGER, 2009). A deficiência de zinco se manifesta em baixa atividade da gema terminal, ocasionando decréscimo da síntese de auxina, o que traduz em encurtamento dos lançamentos foliares e aspecto de roseta, com compressão da inflorescência.

A distribuição do sistema radicular da bananeira é função das características genéticas das plantas, dos teores de água no solo e das suas propriedades físicas, como textura e estrutura, que atua na sua resistência à penetração pelas raízes (GREGORY, 1987). Com base nisto, pode-se especular que diferentes sistemas de irrigação tendem a promover diferentes padrões de distribuição de água no solo, que condicionam a distribuição do sistema radicular.

A densidade de comprimento radicular (L_{dr} , cm cm^{-3}), aqui denominada DCR, e o comprimento radicular específico (L_{wr} , m g^{-1}) são características quantitativas da arquitetura de sistemas radiculares, que interferem no transporte de água e nutrientes do solo até as raízes, e, conseqüentemente, na absorção água e nutrientes pelas plantas. A DCR quantifica a capacidade do sistema radicular para explorar volume de solo. Quanto maior o seu valor, mais nutrientes por unidade de volume de solo são absorvidos, especialmente aqueles nutrientes que possuem seu transporte preferencial por difusão.

Raízes de bananeiras e plátanos têm DCR de cerca de 1 cm cm^{-3} . O L_w quantifica o comprimento de raiz por unidade de carbono investido no sistema radicular. Para plantas adultas de 'Williams', crescendo em areia, o L_w pode variar de $0,4 \text{ m g}^{-1}$, em raízes principais nodais, a 150 m g^{-1} em raízes secundárias laterais, as quais absorvem a maior parte da água e nutrientes. O L_w altera-se com o genótipo, o desenvolvimento da planta e com as condições ambientais (TURNER, 2005).

Um estudo de avaliação do sistema radicular da bananeira em condições subúmidas conduzido por Coelho et al. (2006) utilizando sistemas de irrigação por gotejamento e microaspersão durante o crescimento vegetativo (160 dias após o plantio), mostrou maior expansão radicular para o sistema de gotejamento, onde pelo menos 70,00% do comprimento total das raízes atingiram a profundidade de 0,35 m, enquanto que na microaspersão a maior concentração das raízes foi próxima de 0,15 m de profundidade. As raízes se desenvolveram mais no entorno da planta sob gotejamento, com 49,50% a 74,00% das raízes até 0,40 m do pseudocaule. Os valores de DCR foram maiores sob gotejamento que sob microaspersão.

Na fase de produção em região subúmida irrigada por gotejamento, com dois e seis gotejadores em uma linha lateral de irrigação e quatro gotejadores, dois por linha lateral (duas laterais por fileira de plantas), o sistema radicular da bananeira apresentou maiores DCR entre 0,10 m e 0,40 m de profundidade, chegando até 0,70 m (Figura 4). As DCR máximas ficaram entre $1,6 \text{ cm cm}^{-3}$ e $2,2 \text{ cm cm}^{-3}$. Em região semiárida, a bananeira sob gotejamento apresentou numa condição de duas linhas laterais por fileira de plantas, com quatro emissores por planta, DCR

média de $2,05 \text{ cm cm}^{-3}$, com 80,00% do comprimento total das raízes detectado a 0,50 m da superfície do solo, semelhante às condições subúmidas (SANT'ANA et al., 2010).

No caso da bananeira irrigada por microaspersão, com um emissor para quatro plantas, a DCR foi superior a $0,3 \text{ cm cm}^{-3}$ até a profundidade 0,50 m (Figura 5); o centro de atividade do sistema radicular foi localizado à distância de 0,10 m do pseudocaule e à profundidade de 0,20 m; entretanto, conforme a vazão do microaspersor, na condição de um emissor para quatro plantas pode ocorrer centros de maior atividade em diferentes distâncias do pseudocaule, à profundidades entre 0,10 m e 0,40 m (SANTOS et al., 2004). Em condições semiáridas, a DCR média no perfil foi de $0,87 \text{ cm cm}^{-3}$, superior à encontrada nas condições subúmidas, o que não implica que essas diferenças sejam comuns. No caso da distribuição de raízes nessas condições, 80,00% do comprimento total das mesmas foi detectado a 0,50 m da superfície do solo, o que indica coerência com a distribuição de raízes em plantas irrigadas por gotejamento.

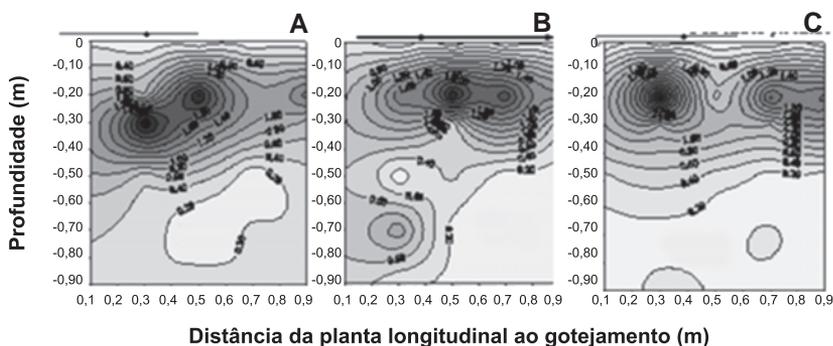


Figura 4. Distribuição da densidade de comprimento de raízes, DCR (cm cm^{-3}), em bananeira, sob irrigação por gotejamento. Dois gotejadores por lateral (A); seis gotejadores por lateral (B); e dois gotejadores por lateral, com duas linhas laterais (C).

Fonte: Coelho et al. (2006)

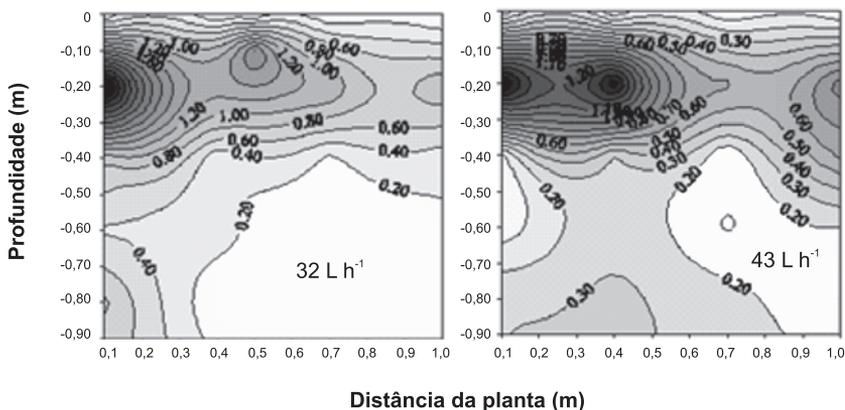


Figura 5. Densidade de comprimento de raízes, DCR (cm cm^{-3}), em bananeira, sob irrigação por microaspersão, para emissor de vazões de 32 L h^{-1} e 43 L h^{-1} .
 Fonte: Santos et al. (2007)

A bananeira irrigada por aspersão convencional apresentou o sistema radicular com maior concentração de raízes próximo à superfície do solo (0- 0,30 m), onde ocorreram 80,00% do comprimento total das raízes (SANT'ANA et al., 2010).

Sant'ana (2011) avaliou a distribuição do sistema radicular da bananeira 'Prata-Anã'. As avaliações foram realizadas nas fases de florescimento do primeiro ciclo e final do crescimento dos frutos do primeiro e do segundo ciclo sob sistemas de irrigação por aspersão convencional, microaspersão e gotejamento em condições semiáridas. O autor verificou maior DCR para o gotejamento em profundidade acima de 0,40 m e menor profundidade efetiva, abaixo de 0,40 m e a maiores distâncias do pseudocaule das plantas, até 0,70 m, para microaspersão e aspersão. Isto indica que estes sistemas proporcionam uma área maior com disponibilidade de água superficial, enquanto o gotejamento disponibilizou água no solo a profundidades

maiores facilitando o aprofundamento radicular. Na fase final de crescimento dos frutos do primeiro ciclo, as maiores DCR para o sistema de irrigação por gotejamento, foram registradas nas regiões limitadas pelas distâncias horizontais do pseudocaule e profundidade da superfície do solo de até 1,0 m, com dois centros de maior concentração do sistema radicular, a 0,70 e 0,20 m de profundidade da superfície do solo, nas distâncias de 0,15 e 0,60 m do pseudocaule, respectivamente.

O manejo da irrigação no que diz respeito à frequência de aplicação de água está relacionado diretamente com a distribuição de água no solo e, conseqüentemente, à distribuição de raízes no solo. O aumento da frequência de irrigação implica em menor quantidade de água aplicada por evento de irrigação e menor volume de solo molhado, podendo afetar a distribuição das raízes no solo. A distribuição do sistema radicular da bananeira sob duas frequências de irrigação (quatro e seis dias) nas condições do Projeto Gortuba, Norte de Minas Gerais, resultou em maiores valores de DCR para a frequência de seis dias comparada à de quatro dias (SANTOS et al., 2004). Isto foi atribuído às maiores quantidades de água aplicadas a cada evento de irrigação nesta frequência, resultando em maior volume de solo molhado, facilitando o desenvolvimento das raízes em toda a extensão entre a planta e o microaspersor.

A distribuição das raízes no solo pode ser influenciada pela densidade de plantas, a qual influencia o uso de água pela bananeira. A variação da densidade de plantas é uma técnica comumente usada por produtores e deve ser considerada em bananais irrigados. Santana Júnior et al. (2009) avaliaram a distribuição radicular da bananeira irrigada. Os autores utilizaram

um microaspersor para quatro plantas com vazão de 60 L h⁻¹ no espaçamento de 3,0 m x 2,7 m, em um sistema de plantio com uma e duas famílias por touceira (Tabela 1). O sistema radicular com uma e duas famílias por touceira apresentou maiores diferenças próximo do pseudocaule (até 0,30 m) com menor variação das percentagens do comprimento total do perfil para maiores distâncias do pseudocaule. A maior DCR ocorreu, nas duas situações, até a distância de 0,30 m do pseudocaule, entretanto, na distância de 0,10 m a 0,20 m houve maior percentagem de raízes para duas famílias em relação a uma família por touceira. As médias do comprimento total e de DCR no caso de duas famílias por touceira equivaleram, respectivamente, a 2,4 e 2,3 vezes as médias obtidas para uma família por touceira. A profundidade contendo, pelo menos 80,00% das raízes, foi detectada a 0,50 m em todas as duas situações.

Tabela 1. Médias da densidade de comprimento radicular, DCR, e comprimento total de raízes, em bananeira, avaliadas em diferentes profundidades do solo.

Profund. (m)	Uma Família por Touceira		Duas Famílias por Touceira	
	Dens. compr. (cm cm ⁻³)	Compr. total (m)	Dens. compr. (cm cm ⁻³)	Compr. Total (m)
0,10–0,20	0,699 b	354,716 b	1,420 c	733,741 c
0,20–0,40	0,322 a	142,908 a	0,844 b	423,408 b
0,40–0,60	0,138 a	61,366 a	0,421 a	216,125 a
0,60–0,80	0,112 a	43,716 a	0,203 a	97,300 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As classes de diâmetros das raízes no solo conforme Böhm (1979) constam na Tabela 2. Em estudos de distribuição de sistema radicular é importante o conhecimento destas classes,

dentre outras finalidades, para entender o mecanismo de absorção de água do solo pelo sistema radicular. Nesse sentido, a absorção é realizada por pelos radiculares, cuja maior incidência está associada a raízes de menores diâmetros.

Tabela 2. Classes de raízes em função de diâmetros.

Diâmetro da raiz (mm)	Classe
< 0,5	Muito fina
0,5 – 2,0	Fina
2,0 – 5,0	Pequena
5,0 – 10	Média
10 – 20	Grande
>20	Muito grande

Fonte: Extraído de Bhom (1979)

As Figuras 6 e 7 ilustram a distribuição das raízes nas diferentes classes de diâmetro, entre o pseudocaule e um microaspersor, na condição de um emissor para quatro plantas e frequência de irrigação de quatro e seis dias. As classes de diâmetros menores predominaram na profundidade 0-0,40 m, principalmente para a frequência de seis dias de irrigação. Nessa frequência, raízes de diâmetro até 2,0 mm foram encontradas em todo o perfil, o que não ocorreu para quatro dias, onde esta classe de diâmetro limitou-se até 0,40 m de profundidade. Esse fato reforça a ideia de que frequências menores de irrigação ocasiona maior expansão horizontal do sistema radicular, onde raízes finas e muito finas, que contribuem efetivamente na absorção de água e nutrientes, atingem distâncias maiores em relação à planta. Na frequência de quatro dias houve presença relevante de raízes de diâmetros até 5,0 mm na profundidade até 0,80 m para distâncias da planta até 0,80 m (SANTOS et al., 2004).

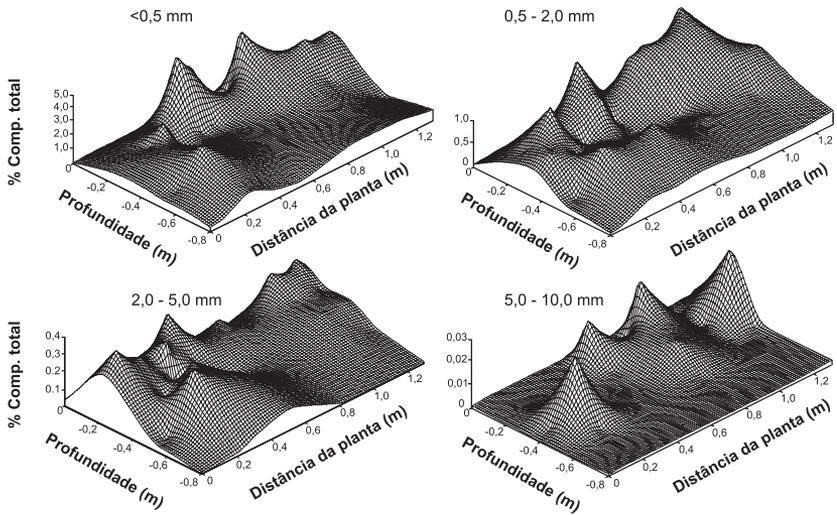


Figura 6. Distribuição das classes de diâmetros das raízes, entre a planta e o microaspersor, para a frequência de irrigação de quatro dias, no primeiro ciclo, da bananeira 'Prata-Anã'.

Fonte: Santos et al. (2004)

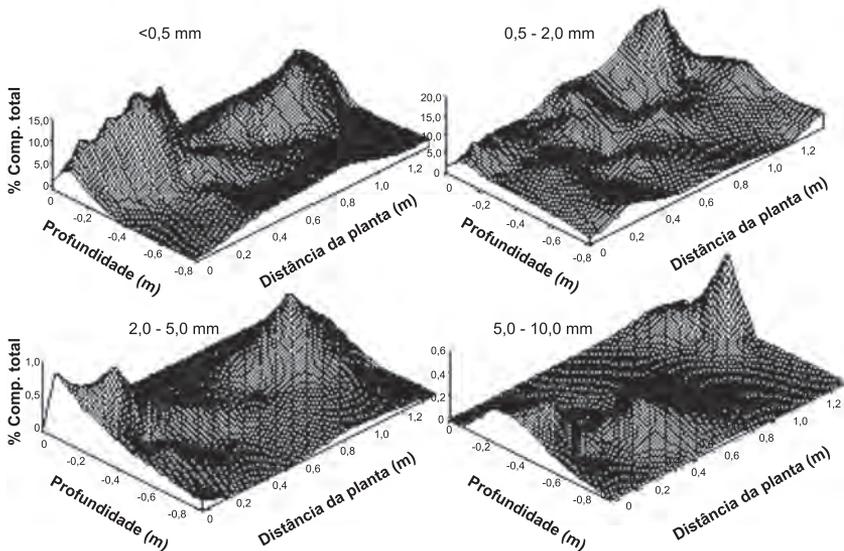


Figura 7. Distribuição das classes de diâmetros das raízes, entre a planta e o microaspersor, para a frequência de irrigação de seis dias, no primeiro ciclo, da bananeira 'Prata-Anã'.

Fonte: Santos et al. (2004)

A classe de raízes muito finas predominou no perfil, 69,80% para quatro dias e 78,20% para seis dias de frequência de irrigação, seguida das classes de raízes finas, 23,70% para quatro dias e 18,7% para seis dias. As raízes médias representaram 5,90% para quatro dias e 2,90% para seis dias e as raízes grossas, 0,60% e 0,20%, para quatro e seis dias de frequência de irrigação, respectivamente.

Santana (2011) encontrou maior percentagem total do comprimento de raízes, 52,33%, pertencentes a classes de diâmetros de raízes finas, para o sistema de irrigação por aspersão convencional, comparada a microaspersão e gotejamento, o que confirma Garcia (2000) que constatou um maior predomínio de raízes grossas sob microaspersão e maior proporção de raízes finas e médias na área sob aspersão convencional. Dessa forma, Sant'ana (2011) infere que a atividade do sistema radicular das plantas sob aspersão convencional pode ser mais eficiente que das plantas sob gotejamento e microaspersão, pois as raízes de menor diâmetro são as mais ativas quanto à absorção de água e nutrientes.

4. Absorção de água

O movimento da água no solo ocorre principalmente por fluxo de massa. A força motriz é um gradiente de potencial hídrico (ψ_w). A água flui de uma região com maior potencial para outra com menor potencial hídrico. À medida que as plantas absorvem água do solo, o ψ_w próximo à superfície das

raízes decresce e estabelece-se um gradiente de potencial em relação às regiões vizinhas do solo, que possuem valores altos de ψ_w , o que provoca a movimentação da água em direção à superfície das raízes. A taxa de fluxo de água no solo depende do gradiente de potencial hídrico e da condutividade hidráulica do solo, que varia com o tipo de solo e com o conteúdo de água. Um contato íntimo entre as superfícies das raízes e o solo proporciona a área de superfície necessária para absorção de água e íons do solo, e é maximizado pelo crescimento das raízes (TAIZ; ZEIGER, 2009). Isso caracteriza um mecanismo de transporte de íons no solo, denominado interceptação radicular.

Na planta, o movimento da água, segue o fluxo transpiracional. A evaporação da água produz o gradiente de ψ_w , que é a causa principal do movimento da água através do xilema, controlando a taxa de absorção e ascensão da seiva. O xilema constitui uma rota de baixa resistência ao movimento de água, diminuindo o gradiente de pressão necessário ao transporte de água do solo às folhas. A transpiração foliar depende da diferença de concentração de vapor d'água entre os espaços intercelulares das folhas e a atmosfera externa e da resistência à difusão do vapor d'água (Figura 8). A pressão e a concentração de vapor de água são fortemente dependentes da umidade relativa e da temperatura. A resistência a difusão do vapor de água, é representada pela resistência estomática e pela resistência da camada limítrofe, camada de ar parada junto à superfície foliar (TAIZ; ZEIGER, 2009).

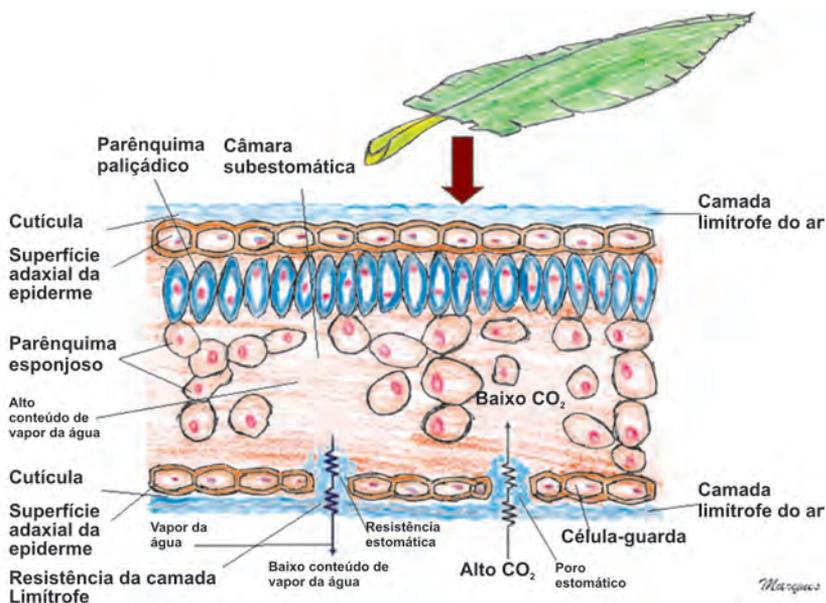


Ilustração: Pedro Ricardo Rocha Marques

Figura 8. Representação da trajetória da água, trocas gasosas e resistências à difusão de vapor d'água e CO_2 ao longo dos seus gradientes de concentração.

Fonte: Adaptado e modificado de Taiz e Zeiger (2009)

A capacidade das raízes da bananeira para transportar água da epiderme para a endoderme é expressa pela condutividade hidráulica radial (L_{PR}). Turner (2005) reporta que a L_{PR} em raízes nodais da bananeira 'Williams' cultivada em solução nutritiva foi de $1,8 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1} \text{ MPa}^{-1}$, cerca de três vezes maior que raízes primárias de milho sob as mesmas condições, e que esta capacidade diminui com a deficiência de oxigênio.

Bananeira é uma planta hidrófita, considerada muito sensível ao déficit hídrico no solo e responsiva à irrigação. Entretanto, as suas folhas permanecem altamente hidratadas, mesmo sob condições de estresse hídrico (MAHOUACHI, 2009). Isso se

dá provavelmente pelo fechamento dos estômatos causado por um sinal emitido pelas raízes, síntese do hormônio vegetal ácido abscísico (ABA), e transporte para a parte aérea via xilema em resposta ao déficit hídrico no solo. Este mecanismo conserva a água na planta, mas interfere na assimilação de CO₂ e, conseqüentemente, na produtividade (TAIZ; ZEIGER, 2009). Turner (2005) considera um desafio para programas de melhoramento genético a modificação do sistema radicular de modo que seja menos sensível ao decréscimo da umidade do solo. Isso permitiria a planta extrair mais água do solo antes que o crescimento fosse limitado e aumentaria a eficiência do uso da água. Turner (2005) acrescenta que a impedância mecânica pode influenciar o aumento da síntese de ABA, pois diminui o transporte de água do solo até as raízes, e que a densidade radicular de bananeiras decresce exponencialmente com o aumento da densidade do solo.

A extração de água pelo sistema radicular da bananeira, como de qualquer cultura, depende dos fatores relacionados a processos fisiológicos, responsáveis pela transpiração. Também depende de fatores que influenciam a distribuição das raízes, por exemplo, a posição do emissor de água em relação à planta, a arquitetura do sistema radicular, o manejo da irrigação, dentre outros (COELHO; OR, 1996).

O sistema de irrigação e a sua arquitetura influenciam na área molhada e na distribuição de umidade no solo, afetando o potencial da água do solo e os gradientes de potencial do solo para as folhas. Ao mesmo tempo, os cenários de distribuição de água criados pelas configurações dos sistemas de irrigação afetam a distribuição das raízes no entorno da planta.

A extração de água de bananeira 'Prata-Anã' foi avaliada em condições subúmidas com frequência de irrigação de dois dias e em condições semiáridas com frequência de irrigação de dois e quatro dias. Nas condições subúmidas (Figura 9A) a absorção de água pelo sistema radicular da bananeira se dá basicamente de 0,70 a 0,80 m de profundidade, com maior intensidade nos primeiros 0,40 m abaixo da superfície do solo, principalmente à 0,20 m de profundidade. A profundidade efetiva do sistema radicular, considerando a região que efetivamente extrai água e nutrientes, pode ser até 0,50 m.

Em condições semiáridas (Figuras 9B e 9C), a absorção de água ocorre mais superficialmente para a frequência de irrigação de dois dias, com as zonas de maior intensidade de extração até 0,70 m da planta e à 0,50 m de profundidade. Para a frequência de quatro dias, provavelmente devido ao maior volume de solo molhado por irrigação, a extração ocorre em maior profundidade, com maior intensidade até 0,60 m da planta. Para a frequência de seis dias (Figura 9c), a extração acontece em um maior volume de solo, como esperado, e os maiores valores ocorrem em toda profundidade monitorada, até 0,80 m e a distâncias da planta de até 1,10 m (COSTA et al., 2002).

Silva et al. (2006) avaliaram a distribuição e as zonas de extração de água pelo sistema radicular da bananeira 'Prata-Anã', irrigada por sistemas de microaspersão com diferentes vazões (32, 43 e 60 L h⁻¹) (Figura 10). Os autores constataram que as regiões mais próximas ao emissor, que se mostraram mais úmidas após as irrigações, possibilitaram maior extração de água pelas raízes em relação às regiões mais afastadas do emissor, onde a umidade atingiu níveis menores com menores quantidades de água absorvidas pelas raízes.

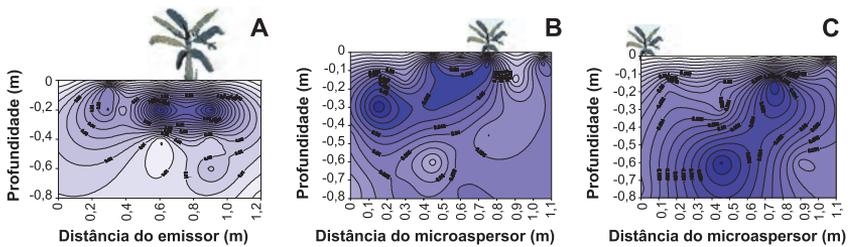


Figura 9. Extração de água ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) pela bananeira 'Prata-Anã' sob frequência de irrigação de dois dias em condições subúmidas (A), semiáridas (B) e sob frequência de irrigação de quatro dias (C) em condições semiáridas.

Fonte: Costa et al. (2002).

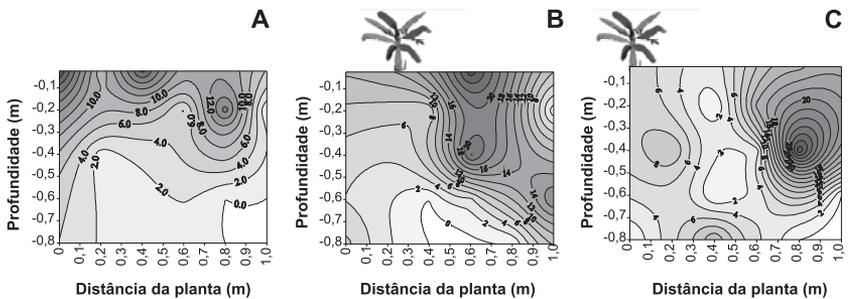


Figura 10. Distribuição dos teores equivalentes as percentagens do total de água absorvido num período de oito horas após uma irrigação para microaspersores de vazões 32 (A), 43 (B) e 60 L h^{-1} (C).

Fonte: Silva et al. (2006)

5. Transporte de nutrientes no solo e sua absorção

O fluxo difusivo de nutrientes da solução do solo até a raiz é expresso pela Lei de Fick que é função do coeficiente de difusão, da área de passagem do fluxo e do gradiente de concentração do nutriente (NOVAIS, 1996). O coeficiente de difusão é função do coeficiente de difusão em água pura, da

umidade do solo e da tortuosidade da trajetória da difusão. Este último depende, dentre outros fatores, da viscosidade da água que se encontra mais próxima das superfícies das partículas coloidais. A viscosidade da água comporta-se de forma inversamente proporcional à temperatura do solo. Assim, a elevação da temperatura na zona radicular tende a diminuir a viscosidade, a aumentar o fator de impedância, determinando maior valor do coeficiente de difusão e, conseqüentemente, maior fluxo difusivo de nutrientes do solo até a raiz. Por outro lado, nas épocas frias, a água torna-se mais viscosa e interfere negativamente no fluxo difusivo de nutrientes no solo. Esse fato é comprovado na prática, pelo aumento da ocorrência de casos de encouqueiramento, nas épocas mais frias em diferentes regiões bananeiras, atribuídos à deficiência de zinco, mesmo em áreas irrigadas.

Incremento de temperatura na zona radicular afeta o gradiente de transporte de nutrientes no solo, o volume e a concentração iônica do fluxo xilemático (MARSCHNER, 1995). O fluxo de massa é consequência da existência de um potencial de água no solo maior que aquele junto à raiz. Esta diferença de potencial é causada pela transpiração da planta, o que ocasiona um movimento de massa da água em direção à raiz, arrastando nela os íons que se encontram em solução. Assim, em condições que favoreçam o fechamento de estômatos, como temperaturas elevadas, deverão causar menor absorção de Ca^{++} , N (NO_3^- e NH_4^+) e Mg^{++} entre outros de maior mobilidade no solo (NOVAIS, 1996).

Embora a temperatura do solo apresente maior influência no movimento de nutrientes no solo por fluxo de massa, o

transporte por difusão, ainda que em menor intensidade, também varia com a temperatura (NOVAIS, 1996). Essas considerações têm especial relevância para a bananeira, uma vez que além de possuir alta exigência por nutrientes, possui baixa capacidade de troca de cátions do sistema radicular (CTCR), sendo 23 ± 4 cmol kg⁻¹ de raízes para os eixos radiculares principais e 34 ± 3 cmol kg⁻¹ para as raízes laterais (RUFYIKIRI et al., 2002). Tais características implicam em uma cinética de disponibilização correspondente às necessidades da planta (MARTIN-PRÉVEL, 1984). Deste modo, qualquer fator que reduza a disponibilidade de nutrientes no solo e o processo de aquisição destes pela planta, como um fluxo difusivo limitado e/ou baixa CTCR, interfere no *status* nutricional, no crescimento e produtividade desta espécie.

De forma geral, monocotiledôneas possuem densidade de carga (expressa em CTCR) em torno de 10 a 20 cmolc kg⁻¹ de raízes secas e são mais eficientes na absorção de K⁺, enquanto dicotiledôneas apresentam CTCR em torno de 40 a 80 cmolc kg⁻¹ de raízes secas e absorvem Ca⁺⁺ e Mg⁺⁺ mais eficientemente. A absorção de cátions monovalentes (K⁺ e Na⁺) diminui e a de cátions divalentes (Ca⁺⁺ e Mg⁺⁺) aumenta à medida que a CTCR das plantas aumenta (FERNANDES; SOUZA, 2006). A bananeira, embora seja uma monocotiledônea, possui CTCR intermediária entre as duas classes.

A bananeira é sensível ao desequilíbrio nutricional, portanto, para o bom crescimento e produtividade é fundamental o equilíbrio no suprimento e absorção nutrientes (SILVA; BORGES, 2008). Uma desordem nutricional típica é o “azul da bananeira”,

que está relacionada com a deficiência de Mg^{++} induzida por excesso de K^+ (MOREIRA, 1999). O K^+ é o nutriente mais absorvido e exportado pela bananeira, e tem o seu transporte no solo em torno de 50,00% atribuído à difusão. A contribuição percentual da difusão para suprimento de K^+ comparada ao fluxo de massa depende, dentre outros fatores, da disponibilidade deste elemento no solo. O íon Mg^{++} tem o seu transporte no solo regulado por fluxo de massa. Assim, é esperado agravamento da desordem “azul da bananeira” sob condições de temperaturas extremas e ou déficit hídrico.

De acordo com a revisão de Delvaux et al. (2005) a absorção de Ca^{++} por mudas de bananeira é governada por fluxo de massa; a absorção de Mg^{++} parece ser apenas convectiva à baixa taxa de absorção de água, enquanto os processos de transporte ativo atuam especialmente na absorção e transporte de água; Os íons K^+ , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^- e Mn^{++} , mostram taxa de absorção claramente dependente de mecanismos ativos; para micronutrientes (Fe^{++} , MoO_4^{-2} , BO_3^{-3}), os mecanismos de exclusão podem ocorrer nas raízes quando a oferta for maior que a demanda; o aumento da absorção de amônio por raízes de bananeira resultou em diminuição dos teores de Mg^{++} na planta; o NH_4^+ é preferencialmente absorvido quando comparado ao NO_3^- ; contudo, a depleção de NH_4^+ na solução nutritiva aumenta significativamente absorção de NO_3^- .

Mahouachi (2009) constatou alterações na concentração de nutrientes minerais em folhas e raízes de plantas jovens de ‘Grande Naine’ cultivadas em vasos e submetidas à depleção da umidade do solo durante 62 dias.

O decréscimo da umidade do solo aumentou as concentrações foliares de Ca^{++} , K^+ , Mg^{++} , Na^+ e Cl^- , e de Ca^{++} , Cl^- e Na^+ nas raízes. O autor concluiu que: i) o aumento das concentrações de nutrientes minerais, seguido do decréscimo da umidade do solo, pode estar relacionado com a translocação de íons de folhas velhas para as folhas jovens como órgãos de drenos, particularmente para os íons com maior mobilidade na planta, uma vez que folhas velhas, progressivamente, secam com a redução de água no solo; e que, ii) apesar da desidratação ter alcançado sua intensidade máxima, cerca de 41 dias de estresse hídrico, não foi observada alteração nas concentrações de nutrientes. No entanto, as folhas mais velhas perderam a funcionalidade, os íons aumentaram suas concentrações e permaneceram nelas. Em particular, os íons envolvidos na homeostase e/ou ajustamento osmótico, tais como Ca^{++} , K^+ , Na^+ e Cl^- , mostraram maiores incrementos e também os constituintes da molécula de clorofila, N e Mg^{++} .

De acordo com Rufyikiri et al. (2002) a excreção líquida de prótons por raízes de bananeira está relacionada com a absorção excessiva de cátions sobre ânions. Assim, uma alta absorção de íons K^+ e NH_4^+ induz forte liberação de acidez por raízes de bananeira. Em particular, o aumento da fração $[\text{NH}_4^+ / (\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-)]$ de 0 a 0,30 durante o constante suprimento de N decresceu o pH de 6,5 para 3,8, demonstrando que plantas de bananeira excretam bastante H^+ . O balanço $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$ influencia diretamente o balanço de cargas e a excreção de prótons por raízes de bananeira, como conhecido para outras espécies vegetais (MARSCHNER, 1995).

6. Exigências hídricas e térmicas

A água é provavelmente o fator abiótico mais limitante à produção da bananeira (TURNER, 1995). O cultivo tem uma alta demanda hídrica, exigindo precipitação média anual de 2.000 a 2.500 mm, uniformemente distribuída durante o ano. Aproximadamente 25 mm por semana são necessários para crescimento satisfatório (Robinson; Galán Saúco, 2010). Para plátanos o requerimento hídrico é de aproximadamente 150 mm mês⁻¹ (1.500 m³ ha⁻¹) (CAYÓN, 2004).

Para o clone tipo Terra 'Dominico-Harton', com área foliar de 14 m², foi estimado um consumo diário de 26, 17 e 10 litros de água em dias ensolarados, parcialmente e completamente nublados, respectivamente. Assim, um cultivo de plátanos com 1.500 plantas ha⁻¹ e índice de área foliar (IAF) de 2,1, consome por mês 1.170 m³ ha⁻¹ em ambientes ensolarados e 765 m³ ha⁻¹ em ambientes com nebulosidade intensa (CAYÓN, 2004).

Na literatura, as informações sobre temperaturas máximas, mínimas e médias ótimas relacionadas com crescimento da bananeira são controversas. Por exemplo, Moreira (1999) indica como ótima, a faixa entre 20 e 24 °C, e os limites extremos entre 15 e 35 °C, enquanto Soto Ballesterro (1992) como sendo de 21 a 29,5 °C e os limites entre 15,6 e 37,8 °C. Entretanto, há consenso sobre temperatura média diária para crescimento e desenvolvimento da bananeira (Figura 11): a emissão foliar é paralisada abaixo de 16 °C; a temperatura ótima para o crescimento e iniciação floral é de 22 °C, e a temperatura ótima para taxa de emergência foliar é acima de 31 °C (TURNER; LAHAV, 1983; ROBINSON; GALÁN SAÚCO, 2010).



Figura 11. Temperaturas críticas para crescimento e desenvolvimento da bananeira. ¹Atual = temperatura específica alta ou baixa que induz danos. ²Média = temperaturas médias mensais relatadas para variações nos processos de crescimento e desenvolvimento [(máxima média + mínima média)/2].

Fonte: Adaptado de Robinson; Galán Saúco (2010).

A temperatura média ótima é de 27 °C para o equilíbrio entre emissão foliar e fotossíntese líquida. A ocorrência de temperatura mínima média mensal abaixo de 9 °C ou a média de temperatura mensal em 14 °C prejudica a assimilação de matéria seca, paralisa a emergência foliar e a planta trava. Esse ponto seria considerado o zero vegetativo para a bananeira (ROBINSON; GALÁN SAÚCO, 2010). Contudo, Turner e Fortescue (2010) definem a temperatura base, ou zero vegetativo para bananeiras, como 10 °C para os subtropicais e 13 °C para os trópicos.

Esses dados estabelecem as temperaturas limitantes, infra e supraótimas e formam a base para estimar a produção potencial da bananeira, desde que os demais fatores de produção estejam no ótimo.

7. Estresse hídrico

A seca como fator de estresse ocorre quando pouca água está disponível em um estado termodinâmico apropriado. Para Larcher (2000) "seca" é um período sem precipitação durante o qual o conteúdo de água no solo é reduzido de forma que as plantas sofrem com a ausência de água e resistência à seca, como a capacidade da planta superar a estiagem.

O déficit hídrico pode ser definido como todo o conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do maior conteúdo de água exibido no estado hidratado. Quando o déficit hídrico apresenta evolução suficientemente lenta para permitir mudanças nos processos de desenvolvimento, o estresse hídrico tem vários efeitos sobre o crescimento.

O declínio do potencial hídrico resulta em diminuição do volume celular e progressiva desidratação do protoplasto, afetando todos os processos vitais. A primeira e mais sensível resposta ao déficit hídrico é a diminuição da turgescência e, associada a esse evento, a diminuição do processo de crescimento em expansão (LARCHER, 2000; TAIZ; ZEIGER, 2009).

O consumo de água da bananeira é elevado e constante, e está em função da sua morfologia e da hidratação dos seus tecidos, sendo então muito suscetível à seca. A deficiência de água é mais prejudicial nas fases de diferenciação floral e início da frutificação. O déficit hídrico afeta diretamente a aquisição de carbono, o crescimento e a absorção de nutrientes. Eventos de desenvolvimento, tais como emissão de folhas e a iniciação de florescimento, são retardados (TURNER, 1995).

Os primeiros sinais visíveis do estresse de seca são murchas prolongadas das folhas, seguidos de amarelecimento, necrose marginal e sintomas de queimadura das folhas. Em longo prazo, a resposta a déficits de umidade levará a redução do tamanho e do número de folhas vivas por planta, aumento do amarelecimento das folhas, redução no tamanho das plantas, decréscimo na emissão foliar, diminuição no crescimento dos órgãos florais, cachos engasgados (obstruídos), dedos curtos e, em casos extremos, cachos pequenos, com dedos secos e enegrecidos (STOVER; SIMMONDS, 1987; SOTO BALLESTERO, 1992; ROBINSON; GALÁN SAÚCO, 2010).

As estratégias comuns de resistência ao déficit hídrico apresentadas pelas plantas são: a redução da transpiração pelo fechamento estomático em resposta ao ABA e pela redução

da área foliar; maior aprofundamento das raízes no solo em decorrência da mudança da razão parte aérea/raiz (alteração nos drenos preferenciais); ajuste osmótico das células e aumento do depósito de cera sobre a superfície foliar (LARCHER, 2000; TAIZ; ZEIGER, 2009). Essas estratégias são influenciadas pelas condições ambientais.

Estresses moderados desencadeiam a síntese de ABA a partir de carotenóides na raiz. O ABA é transportado como um “sinal da raiz” pelo xilema até a parte aérea da planta onde induz efeitos fisiológicos tais como: fechamento estomático, alterações no equilíbrio hormonal e na alocação de assimilados entre raiz e parte aérea, desenvolvimento de características morfogênicas específicas e início precoce do processo reprodutivo (LARCHER, 2000).

Sob condições de alta demanda evaporativa, as raízes da bananeira podem não extrair água do solo suficiente para suprir a demanda, mesmo com o solo úmido, impedindo o fluxo de água no *continuum* solo-planta-atmosfera. Esta aparente ineficiência conduz à perda de turgor da planta, que inicia a murcha temporária. Robinson e Galán Saúco (2010) consideram que este problema fisiológico provê uma evidência experimental para apoiar a baixa tolerância à seca pela bananeira e a necessidade do uso de irrigação adicional para obtenção de boa produção. Soto Ballester (1992, 2008) argumenta que a baixa eficiência do sistema radicular da bananeira na extração de água do solo, em adição à grande exigência hídrica do sistema foliar, evidencia a necessidade de que o solo esteja sempre abundantemente provido de água. Entretanto, Turner et al. (2007) salientam que o

fato do sistema radicular da bananeira ser sensível à secagem do solo e enviar esta informação de forma rápida para a parte aérea sinalizando para o fechamento estomático, aliado à manutenção das folhas em estado hidratado mesmo sob solo seco, provavelmente pelo mecanismo de pressão radicular, constituem mecanismos de tolerância à seca que possibilitam a sobrevivência da planta por longos períodos com déficit hídrico no solo, embora com perda de produtividade (MAHOUACHI, 2009).

Mahouachi (2009) submeteu plantas jovens de bananeira 'Grande Naine' à seca durante 62 dias, cultivadas em vasos. Observou redução significativa no perímetro do pseudocaule após 34 dias de estresse hídrico e maior queda em todo o período de seca, enquanto o número de folhas lançadas, área foliar e altura da planta diminuíram após 40 dias do início do tratamento. O autor considera a expansão do pseudocaule a característica de crescimento mais sensível ao déficit hídrico, e sugere uso da sua contração e expansão como ferramenta para definir cronograma de irrigação, com utilização de dendrômetros.

O crescimento reduzido das plantas decorre da redução da área foliar e da condutância estomática, que limitam a fixação de carbono, diminuindo a atividade fotossintética (Tabela 3), embora esta última seja menos responsiva a estresses hídricos moderados, pois o fechamento estomático inibe, inicialmente, mais a transpiração do que as concentrações intracelulares de CO₂. A redução na condutância estomática é uma resposta de curto prazo a déficits hídricos e varia durante o dia. Esta variação acontecerá até mesmo em plantas bem irrigadas, pois os estômatos respondem a mudanças na luminosidade, umidade,

temperatura e fatores internos da planta. Robinson e Galán Saúco (2010) ilustram reduções percentuais na taxa fotossintética da ordem de 8,00, 18,00, 44,00 e 82,00% para bananeiras submetidas a diferentes níveis de déficits hídricos (Tabela 3).

Tabela 3. Efeito do déficit hídrico na taxa fotossintética em bananeiras do subgrupo *Cavendish*, em clima subtropical

Déficit hídrico	Taxa Fotossintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Redução nas taxas de fotossíntese (%)
Potencial de água no solo		
(1) Plantas sem estresse	26,40	
Estressadas por 4 dias (-12 kpa)	24,20	8,00
(2) Plantas sem estresse	22,60	
Estressadas por 6 dias (-25 kpa)	18,60	18,00
(3) Plantas sem estresse	20,80	
Estressadas por 9 dias (- 53 kpa)	11,70	44,00
(4) Plantas sem estresse	18,00	
Estressadas por 12 dias (-70 kpa)	3,30	82,00

Fonte: Adaptado de Robinson e Galán Saúco (2010).

Bananuka et al. (1999) submeteram seis cultivares de bananeira: Nfuuka (AAA); Sukalindizi (AAB); French Plantain (AAB); Gros Michel (AAA); Lep Chang Kut (BBB) e Fhia-02 (AAAA) a quatro semanas e meia de déficit hídrico, até tensão de umidade do solo superior a 400 mbar. Verificaram-se decréscimos na condutância estomática, na concentração de CO_2 subestomática, na taxa fotossintética, no crescimento, na área de folha verde e na capacidade de retenção de água pela folha. Esses decréscimos variaram com a sensibilidade ou resistência

das cultivares que possuem diferentes mecanismos internos de resistência ao estresse hídrico. Cultivares que expressaram menores reduções nos processos avaliados mostraram maior resistência ao estresse hídrico, pois a resistência é manifestada pela habilidade do cultivo para sustentar uma pequena redução nas atividades fisiológicas e metabólicas sob condição de estresse. Bananuka et al. (1999) encontraram que a cultivar Lep Chang Kut (BBB) mostrou significativamente ($p < 0,05$) alta taxa de transpiração e concentração de CO_2 subestomática, baixa taxa de assimilação, capacidade de retenção de água na folha (44,50%) e condutância estomática que indicam sua sensibilidade ao estresse hídrico, contrariando o conceito estabelecido por Stover e Simmonds (1987) que *Musa balbisiana* contém genomas para resistência ao estresse de seca. Não obstante, Thomas et al. (1998) utilizaram condições controladas para separar os efeitos de déficit de pressão de vapor e de temperatura na condutância estomática de 'Williams' (AAA), 'Lady Finger' ('Prata-Anã', AAB) e 'Bluggoe' (ABB). Verificaram maior decréscimo da condutância estomática com o aumento da pressão de vapor em 'Williams', o que atesta a maior sensibilidade da cultivar AAA.

Thomas e Turner (2001) expuseram bananeiras cultivadas em vaso a déficit hídrico de oito dias, e observaram maior declínio na relação entre fluorescência variável e fluorescência máxima (F_v/F_m) da clorofila na face adaxial comparada à abaxial, o que sugere que a falta d'água associada à luz pode causar maior dano fotoquímico à planta. As plantas submetidas à seca mostraram maior declínio da relação F_v/F_m na superfície foliar adaxial iluminada pelo sol, quando ocorreram reduções no conteúdo relativo de água e na pressão de turgor da folha.

Valores de fluorescência elevados significam menor eficiência fotoquímica, apontando para maior dissipação não fotoquímica em detrimento da fotoquímica (BALHÀR; ÖQUIST, 1993). A capacidade de emissão da fluorescência induzida com alta radiação em folhas adaptadas ao escuro possibilita estimar a integridade do fotossistema II (PSII), como também sua capacidade de transporte de elétrons. Isso pode ser avaliado pela relação F_v/F_m , que varia entre 0,78 e 0,83 para a maioria das espécies, quando não submetidas a estresses ambientais. A queda dessa relação decorre da exposição ao estresse que induz o processo de fotoinibição dinâmica, a qual está relacionada à desnaturação da proteína D1, que promove a estabilidade estrutural do fotossistema II (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Ismail et al. (2004) expuseram plantas de *Musa* spp. Cv *Pisang mass* and *Berangan* a déficit hídrico e observaram diminuições significativas no crescimento vegetativo da planta e perturbações nas relações hídricas e respostas estomáticas. O perímetro do pseudocaule e alongamento foliar foram notadamente reduzidos, após sete dias sem água. Embora tenha ocorrido grande depleção no conteúdo de umidade do solo, registrou-se pequena redução no teor relativo de água da folha. Os autores não encontraram correlação entre decréscimo inicial acentuado na condutância estomática e redução no conteúdo relativo de água, sendo a condutância estomática, mais sensível à depleção de conteúdo de umidade do solo. Nas plantas submetidas a déficit hídrico por um período de vinte dias, a condutância estomática decresceu de cerca de 500 para zero $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Esses resultados são semelhantes às observações de Turner e Thomas (1998) que concluíram que

taxas de trocas gasosas de folha ou taxa de emissão de novas folhas são métodos mais sensíveis para determinar a resposta da bananeira ao déficit hídrico do que as medidas volumétricas ou termodinâmicas tradicionais do estado hídrico da folha, a exemplo do teor relativo de água na folha. Também estão em acordo com Soto Ballestero (1992; 2008) e Turner et al. (2007) que afirmam que bananeiras são altamente hidratadas, corroborados por Mahouachi (2009) (Figura 12). Assim, há consenso que é difícil demonstrar associações claras entre estado hídrico da folha e trocas gasosas, entretanto, há associação forte entre *status* de água do solo e trocas gasosas da folha.

Mahouachi (2009) constatou em bananeira 'Grande Naine' redução das trocas gasosas, iniciada alguns dias após o início do estresse hídrico, enquanto o teor relativo de água na folha apresentou leve decréscimo (Figura 12). O autor confirma que a rápida redução da condutância estomática e a menor diminuição do teor relativo de água na folha podem indicar que a bananeira possui um mecanismo de resistência à seca para manter um favorável *status* hídrico. Neste processo, o ABA poderia desempenhar um papel fundamental regulando as respostas fisiológicas da bananeira em condições de seca. É atualmente bem estabelecido que o ABA atua como um sinal da raiz para a parte aérea sob ambiente adverso. Tem sido sugerido que as raízes são capazes de detectar decréscimos na disponibilidade de água no solo durante a seca, o que resulta em um aumento da síntese de ABA nas raízes e transporte pelo xilema até a parte aérea. Então, folhas respondem ao aumento das concentrações de ABA, resultando em fechamento estomático e menor perda de água.

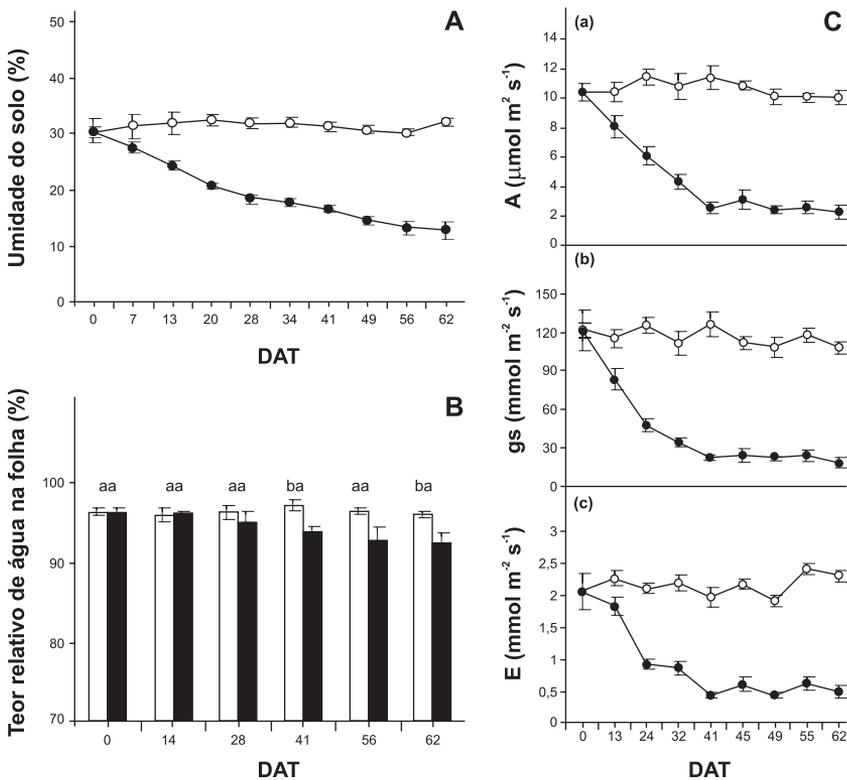


Figura 12. A- Conteúdo volumétrico de umidade do solo (%) em solos irrigados (o) e não irrigados (●) em vasos com plantas jovens de bananeiras ‘Grande Naine’; B- Teor relativo de água na folha (%) em folhas completamente expandidas de plantas de bananeira; C-Taxas de fotossíntese (A), condutância estomática (gs) e transpiração (E) em folhas completamente expandidas de plantas de bananeira.

Fonte: Mahoauchi (2009).

O ajuste osmótico, aumento no conteúdo de solutos por célula, constitui uma resposta das plantas a déficit hídrico (TAIZ; ZEIGER, 2009). São acumulados íons nos vacúolos (ex. K^+) e osmólitos compatíveis no citoplasma como o aminoácido prolina, álcoois (sorbitol e manitol) e a glicina betaína, uma amina quaternária. Os osmólitos compatíveis mantêm o equilíbrio

osmótico entre o citoplasma e os diferentes compartimentos celulares e contribuem para a proteção das biomembranas e das proteínas em relação aos efeitos deletérios da alta concentração iônica (LARCHER, 2000).

Em estudo conduzido por Ismail et al. (2004), o nível de acumulação de prolina em tecido de folha de bananeira foi associado com o estado hídrico interno da planta. Os níveis de prolina aumentaram de 45 para 74 mg g⁻¹ de peso fresco, quando o conteúdo relativo de água do tecido da folha diminuiu de 92,00 a 72,00% com o início do estresse hídrico. Assim, é amplamente aceito que déficit de água aumenta a acumulação de prolina em muitas espécies de plantas, que regula o equilíbrio osmótico da célula e alivia o efeito negativo do estresse, além de manter a integridade das membranas e atuar na remoção de radicais superóxidos, espécies reativas de oxigênio ROS (O₂⁻, H₂O₂ e OH⁻), as quais produzem danos em membranas (LARCHER, 2000).

Turner et al. (2007) utilizaram os dados de Mahouachi (2007) com 'Grande Naine'(AAA), para calcular os efeitos do déficit hídrico do solo sobre as taxas de crescimento e de acúmulo de potássio nos frutos. Em parcelas bem irrigadas, os frutos cresceram (massas frescas e secas) exponencialmente até 83 dias de medição. Este padrão de crescimento foi semelhante nos frutos das plantas submetidas à secagem do solo, mas a taxa reduziu em 30,00% durante a secagem do solo (0-63 dias) e em 11,00% durante o retorno da irrigação (63-83 dias). Mesmo assim, os frutos continuaram a crescer após 63 dias de secagem. A fotossíntese líquida das folhas decresceu em 80,00%

neste momento. O déficit de água do solo reduziu as taxas de acúmulo de peso fresco e peso seco em 39,00% e o acúmulo de K em 57,00%. A irrigação totalmente reestabelecida restaurou a taxa de absorção de K nos frutos, mas a acumulação de matéria seca e a massa fresca foram 17,00% e 30,00% menores que o controle, respectivamente. Estes dados sugerem que a taxa de crescimento dos frutos é ajustada com o suprimento de água disponível e que esse ajuste pode estar relacionado com a manutenção de uma concentração de K suficiente nos tecidos dos frutos. Este mecanismo permite ao fruto incrementar a sua taxa de crescimento absoluto e completar o seu desenvolvimento, apesar da diminuição do fornecimento de água. No entanto, os frutos continuam a crescer, embora a um ritmo mais lento, enquanto numa situação semelhante, a emergência foliar provavelmente seria paralisada, o que evidencia a maior sensibilidade deste processo ao déficit hídrico. Para os frutos crescerem com o solo seco, eles devem ser capazes de absorver água e ter um potencial hídrico mais negativo que outros órgãos da planta, o que poderia acontecer decrescendo o seu potencial osmótico pelo acúmulo de solutos. Como a secagem do solo reduziu a quantidade de K que entrou nos frutos, para Turner et al. (2007) qualquer diminuição no potencial osmótico não é causada por K e deve ser atribuída a outros osmólitos compatíveis, talvez açúcares ou prolina, como encontrado por Ismail et al. (2004).

Do ponto de vista morfológico, o aumento de depósitos de cera é uma adaptação contra déficits hídricos. Soto Ballester (2008) reporta que folhas que cresceram no campo apresentaram 60,00% mais de cera ($80-90 \mu\text{g cm}^{-2}$) em relação

as que cresceram sob estufa. A presença de cera é mais pronunciada em cultivares do grupo genômico ABB, como o Figo, consideradas como mais resistentes à seca.

8. Radiação solar, área foliar e produção

Bananas e plátanos são cultivados em áreas onde a radiação solar varia sazonalmente e espacialmente. A radiação solar em um dia nublado é cerca de 20,00% da radiação de dias claros. Nebulosidade intensa pode afetar a quantidade de carbono fixada pela copa com consequências para o crescimento e funcionamento das raízes. É possível que em períodos prolongados de nebulosidade, o sistema radicular seja afetado e permaneça assim até o término da condição nublada (TURNER et al., 2007).

A falta de luz não interrompe a emissão e desenvolvimento das folhas, porém, os limbos tornam-se brancos devido à inibição da síntese de clorofila e as bainhas foliares e pseudocaulas alongam-se. Plantas de plátanos expostas à radiação solar insuficiente cresceram 70,00% mais que aquelas expostas à radiação solar intensa e alongaram o ciclo vegetativo atrasando a floração em três meses, sem prejuízos significativos ao rendimento (CAYÓN, 2004). Alves et al. (1997) relatam que em lavouras adensadas, sob baixa luminosidade, as plantas sombreadas estiolam, pois os filhos buscam a luz, dessincronizando-se o crescimento com o desenvolvimento do sistema foliar e radicular, com consequências para a produção.

Nos cultivos mais densos, a captação de radiação fotosinteticamente ativa pelo dossel é maior, o que aumenta a

concentração de clorofila, caso típico de folhas de sombra. Entretanto, ocorre decréscimo na quantidade de radiação na base das plantas e, conseqüentemente, diminui a emissão e o desenvolvimento de filhos (CAYÓN, 2004). O manejo da densidade populacional constitui-se num método para controlar a quantidade de radiação incidente nos cultivos, a qual pode ser modificada pelos arranjos de plantio e por variações nas distâncias entre plantas e fileiras. Em plátanos, a densidade populacional pode ser aumentada até 3.333 plantas ha⁻¹. Porém, o incremento da densidade reduz a vida útil das plantações (CAYÓN, 2004). Assim, considerando que os problemas fitossanitários como a broca-da-bananeira e nematóides, comuns em plátanos (Moreira, 1999), também contribuem para diminuir a vida útil da cultura e que os avanços tecnológicos concernentes à densidade de plantio permitiram considerar esse cultivo como anual, é recomendável, especificamente nesses casos, o uso de alta densidade de plantio até o limite do uso eficiente da radiação (BELALCÁZAR CARVAJAL, 1991; ROSALES et al., 2008).

A capacidade de um dossel numa plantação para interceptar luz e fixar o carbono é medida pelo índice de área foliar (IAF). O IAF inclui a área verde de todas as plantas presentes na touceira e é estimado pela área foliar total dividida pela área de terreno. O IAF depende da localização, da densidade de plantio e de outros fatores, incluindo a estação do ano, e varia de 2 a 5. As folhas individuais das bananeiras podem ser muito grandes, até o limite de 2 m². Em um bananal com IAF 4,5, cerca de 90,00% do terreno será sombreado ao meio-dia de um dia ensolarado. Isto implica que 90,00% da radiação é interceptada pelo dossel foliar. Deste modo, aumento do IAF acima deste

valor é pouco benéfico para a plantação, pois a maior parte da radiação recebida já é interceptada (TURNER et al., 2007).

O crescimento e a produção de plátanos e bananeiras dependem do desenvolvimento progressivo das folhas, as quais devem manter-se funcionais desde a emissão da inflorescência e durante o desenvolvimento dos frutos. A área foliar e a fotossíntese estão estreitamente relacionadas com a acumulação de matéria seca e, portanto, tem sido utilizada para avaliar a capacidade fotossintética e prever o desempenho produtivo das plantas de plátanos e bananeiras. A taxa fotossintética da bananeira varia de 5 a 30 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, a depender do clone e das condições ambientais, o que é um valor relativamente elevado comparado a outras espécies C_3 (CAYÓN, 2004; TURNER et al., 2007).

Em plantas lenhosas, a exemplo da mangueira, há um antagonismo entre vigor vegetativo e intensidade da floração e, conseqüentemente, a produção de frutos (AVILAN; ALVAREZ, 1990). Na bananeira, ao contrário, o maior vigor vegetativo antes da diferenciação floral é essencial para se ter inflorescências com muitas flores femininas, que resultará em cachos com maior número de pencas (ROBINSON; GALÁN SAÚCO, 2010).

Uma planta vigorosa e bem desenvolvida de 'Grande Naine' apresenta área foliar ao redor de 28 m^2 (SOTO BALLESTERO, 1992). Entretanto, esses valores referem-se às estimativas de área foliar calculadas pelo método tradicional para bananeiras *Cavendish* (SIMMONDS, 1973). Esse método normalmente superestima a área foliar total. Marques (2011) encontrou área foliar total para 'Prata-Anã' de 25,70, 17,01 e 17,70 m^2

estimada pelos métodos de Simmonds (1973), Kumar et al. (2002) e Zuculoto et al. (2008), respectivamente. Isso evidencia uma diferença de 45,00% nas estimativas entre os métodos. Contudo, Marques (2011) estimou a área foliar total apenas para a planta da touceira representativa do ciclo avaliado. Os métodos de Simmonds (1973) e Kumar et al. (2002) foram desenvolvidos para bananeiras *Cavendish* e de Zuculoto et al. (2008) para bananeira 'Prata-Anã'. Esses métodos de estimativa de área foliar consideram o número de folhas vivas na planta, o comprimento, a largura da terceira folha e um fator de correção, devido à tendência retangular da folha.

Soto Ballester (1992) discute resultados de estudos de desfolha realizados na Costa do Marfim, que determinou que oito folhas por ocasião da emissão da inflorescência são suficientes para atender ao requerimento de assimilados para um desenvolvimento normal do cacho até a colheita. Taxas fotossintéticas das oito folhas mais jovens da bananeira, apresentadas por Robinson e Galán Saúco (2010), subsidiam esses resultados. A terceira folha mostrou a maior taxa fotossintética, $21 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, seguida das folhas quatro e cinco, decrescendo até a oitava folha. A primeira e a oitava folha, a mais jovem e a mais velha, respectivamente, apresentaram as menores taxas fotossintéticas, $11,7$ e $13,4 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. As folhas mais novas recebem mais luz solar, sendo fisiologicamente mais ativas, enquanto as folhas velhas encontram-se cobertas ou parcialmente sombreadas. A diminuição da eficiência fotossintética à medida que aumenta o sombreamento das folhas é fundamentada na extinção da radiação solar ao atravessar várias camadas de folhas justapostas, decrescendo sua intensidade exponencialmente, com o aumento do grau de cobertura vegetal, como prevê a Lei de Lambert-Beer.

De forma geral, há uma relação direta entre área foliar e os componentes de produção. Isto é compreensível, pois a relação fonte/dreno (folha/frutos) é interdependente e o incremento na capacidade da fonte pela maior área foliar, tende a aumentar a taxa de assimilação líquida e, provavelmente, o tamanho do dreno, frutos. Entretanto, um grande número de folhas presente na planta por ocasião do florescimento pode não estar em fase direta com a produtividade, pois, pode resultar em autossombreamento e não necessariamente em incremento da taxa de assimilação líquida, a depender também da filotaxia da cultivar.

A despeito dessa discussão, para bananeiras do subgrupo *Cavendish*, é informado por diferentes autores, o mínimo de 11 folhas inteiras no momento da floração e oito folhas na colheita para produzir os fotoassimilados necessários ao desenvolvimento adequado do cacho. Rodrigues et al. (2009) avaliaram por cinco ciclos sucessivos o efeito de diferentes intensidades de desfolha em bananeira 'Prata-Anã', e observaram um maior número de pencas e frutos com 10 folhas presentes na planta, e uma maior massa do cacho com pelo menos 12 folhas. Para plátanos, o mínimo são seis folhas funcionais desde a floração até os 45 dias de idade do cacho (BELALCÁZAR CARVAJAL et al., 1994).

Canyón (2004) relata para o plátano 'Dominico-Harton', que a taxa fotossintética das folhas intermediárias (folhas 4, 5 e 6) e inferiores (folhas 7, 8 e 9) é mais constante no período de enchimento dos frutos. O autor infere que o terço foliar médio e o inferior são comprometidos no enchimento dos frutos, e, que o terço superior (folhas 1, 2 e 3), mais jovem e ativo, provavelmente contribui para manter o crescimento e desenvolvimento da unidade produtiva.

Cayón et al. (2000) avaliaram a resposta do plátano 'Dominico-Harton' à desfolha seletiva como prática cultural complementar ao manejo integrado da Sigatoka-negra. Encontraram os maiores pesos de cachos nas plantas com nove folhas (15,7 kg), seis folhas superiores (14,3 kg) e seis folhas inferiores (13,9 kg), as quais conservaram as três folhas intermediárias durante todo o período de desenvolvimento do cacho. O perímetro e peso fresco dos frutos e a matéria seca na polpa e na casca dos frutos foram maiores nas plantas com mais folhas funcionais, reduzindo-se significativamente à medida que aumentou a intensidade da desfolha. Do mesmo modo, os frutos colhidos apresentaram menos matéria seca na polpa e na casca. A remoção das folhas intermediárias da planta afetou mais o crescimento e desenvolvimento do cacho que a remoção das folhas superiores ou inferiores. Os autores concluíram haver uma relação estreita entre a expressão do potencial produtivo da planta de plátano e a atividade das folhas durante o período de enchimento dos frutos. Assim, é recomendável a desfolha seletiva das plantas, a partir da floração, como prática complementar ao manejo das sigatokas amarela e negra, desde que mantenha pelo menos seis folhas na planta (BELALCÁZAR CARVAJAL et al., 1994).

Turner et al. (2007) comentam que embora seja esperada maior perda de água numa copa de bananeira com maior IAF, isto necessariamente não ocorre, pois: a) a quantidade de água transpirada por uma folha do dossel será proporcional à quantidade de radiação interceptada, uma vez que é necessário energia para mudança do estado da água de líquido a vapor; e b) cerca de 90,00% da energia radiante

que chega é interceptada por plantas com IAF entre 4,5 e 5,0, podendo chegar a 94,00% sob cultivo protegido. Assim, é pouco provável que um IAF acima de 5,0 contribua para o aumento da transpiração.

Turner et al. (2007), em sua revisão, encontraram variações na forma das curvas de resposta à luz entre experimentos, cultivares e condições ambientais. A taxa máxima de fotossíntese oscila de 5 a 25 $\mu \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e o valor de saturação em resposta à luz de 700 até mais de 2.000 $\mu \text{ mol quanta m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Robinson et al. (1992) mostram que a taxa de fotossíntese é incrementada pela presença de órgãos em crescimento na planta. Esta pode ser uma razão pela qual Thomas e Turner (2001) constataram que a taxa fotossintética das folhas em crescimento vegetativo 'Williams' não atingiu saturação lumínica, mesmo com luz solar plena. Turner et al. (2007) sugerem que a folha individual, e não a copa, sature para determinada densidade de fluxo de fótons fotossintético. A quantidade de CO_2 fixado por unidade de área de solo ocupada pelo dossel tende a aumentar com aumento da luminosidade recebida. Eles argumentam que se o índice de área foliar for baixo ($\text{IAF} < 3$), então o ponto de saturação lumínica para o dossel pode ser atingido mais facilmente. Adicionalmente, a capacidade da bananeira em flexionar as folhas e irradiar a radiação líquida recebida, resulta em mais energia radiante disponível para níveis mais baixos ou para as folhas próximas ao chão, principalmente quando IAF for baixo e a depender das diferenças na filotaxia das cultivares (THOMAS; TURNER, 2001; TURNER et al., 2007).

Dados apresentados por Robinson e Galán Saúco (2010) mostram que a redução da intensidade da radiação fotossinteticamente ativa num dia claro de verão de $1.974 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, para $477 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ num dia nublado de verão, provocou decréscimo de 34,00% na taxa fotossintética líquida da bananeira 'Williams'. O sombreamento que folhas superiores causam é um fator muito importante, o que pode ser constatado pela análise das taxas fotossintéticas das folhas três em pleno sol, e quatro sombreadas, que foram de $20,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $6,8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente. Para incrementos na radiação fotossinteticamente ativa de 500 para 1.000, 1.500 até 2.000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, mensuraram-se incrementos crescentes na fotossíntese de 42,00, 13,00 e 4,00%, respectivamente. Os dados levam a inferir que a radiação fotossinteticamente ativa recomendada está entre 1.500 e 2.000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e, confirmam que a fotossíntese é severamente reduzida com valores de radiação fotossinteticamente ativa abaixo de 1.000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Do mesmo modo, Soto Ballester (2008) apresenta curva de resposta da fotossíntese à luz de 'Grande Naine', cuja taxa fotossintética máxima líquida foi obtida com uma radiação de cerca de 1.500 μmol de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

9. Vento

Os ventos podem causar diversos danos à bananeira. O tipo do dano e a sua intensidade variam com a velocidade, a duração e a temperatura do vento e também, com a cultivar e sua fase fenológica. Podem causar prejuízos de até 100,00%, no caso de queda de plantas. Os danos podem ser *chilling* (ventos

frios), desidratação da planta devido à grande evaporação, fendilhamento entre as nervuras secundárias, diminuição da área foliar pela dilaceração das folhas que já foram fendilhadas, rompimento de raízes, quebra do pseudocaule, tombamento inteiro da touceira (MOREIRA, 1999). Os danos ao sistema radicular comprometem a fixação da planta, a absorção de água e nutrientes e crescimento e desenvolvimento da planta e dos frutos. São notados, inicialmente pelos sintomas reflexos, tais como, aumento do amarelecimento em intensidade e número de folhas, provocados pelo rompimento do sistema radicular e, posteriormente, pelo tombamento das plantas.

Ventos inferiores a 20 km h^{-1} causam fendilhamento. No entanto, as perdas causadas pelos ventos podem ser estimadas entre 20,00 e 30,00% do total produzido nas principais regiões produtoras. A maioria das cultivares suporta ventos de até 40 km h^{-1} . Velocidades entre 40 e 55 km h^{-1} produzem danos moderados como desprendimento parcial da planta, quebra do pseudocaule e outros, dependendo da idade da planta, da variedade e do estágio de desenvolvimento. Quando os ventos atingem velocidade superior a 55 km h^{-1} , a destruição pode ser total (SOTO BALLESTERO, 1992; CAYÓN, 2004). Ventos acima de 40 km h^{-1} são os que causam maiores perdas na produção de cultivares de porte alto, e acima de 70 km h^{-1} nas cultivares de porte baixo (ALVES et al., 1997). A afirmativa de que ventos inferiores a 20 km h^{-1} não causam danos à bananeira não é compartilhada por Galán Saúco (2001), que afirma que ventos com velocidades entre 20 e 30 km h^{-1} ocasionam frequentemente dilaceração dos limbos, diminuindo a superfície foliar e a produção, podendo reduzir a qualidade dos frutos pelo roçamento (atrito) com as folhas.

Os danos causados por ventos de intensidade média (20 a 50 km h⁻¹) podem ser considerados parciais, incidindo diretamente no peso e qualidade dos cachos, que para seu enchimento requerem que a planta tenha uma área foliar ativa mínima entre 7 e 8 m² (CAYÓN, 2004).

As Figuras 13 e 14 ilustram a dilaceração do limbo em bananeira 'Terra', cultivar de porte alto, em dois estádios de desenvolvimento da cultura. A velocidade do vento durante o período em que ocorreu o primeiro ciclo da cultura variou nos momentos mais críticos de 11 a 28 km h⁻¹ (DONATO, 2003; FARIA, 2008). Vale ressaltar que a velocidade do vento registrada nas estações meteorológicas clássicas como as anotadas para o período em discussão, refere-se à média de 24 horas, subestimando os picos de velocidade do vento, que ocorrem, na maioria das vezes, num período curto de tempo, e são os que mais causam prejuízos. Os picos horários de velocidade de vento registrados numa estação meteorológica automática instalada na mesma área, frequentes no período de maio a setembro de 2008 e 2009, foram da ordem de 60 a 75 km h⁻¹.

Figura 13. Dilaceração do limbo em bananeira 'Terra' jovem, Perímetro Irrigado de Cerai-
ma, Guanambi, BA.

Fonte: Faria (2008).



Foto: Assis Nascimento



Figura 14. Dilaceração do limbo em bananeira ‘Terra’ adulta, e prática de tutoramento com fitilho, Perímetro Irrigado de Ceraima, Guanambi, BA.

Fonte: Faria (2008).

O estágio de desenvolvimento da planta é muito importante para determinar a intensidade de prejuízos causados pelo vento. O efeito do vento é maior sobre o rendimento da planta quando esta se encontra com o cacho recém-formado, período em que não há mais emissão de folhas e raízes, quando comparado ao estágio de desenvolvimento vegetativo, em que a planta ainda pode recuperar-se parcialmente (MOREIRA, 1999; GÁLAN SAÚCO, 2001). A intensidade dos danos dos ventos depende também da incidência e severidade do ataque de broca-da-bananeira e nematóides no rizoma e raízes e do vigor do sistema radicular das bananeiras.

Por outro lado, o vento pode favorecer a bananeira. A circulação do ar ao redor da folha provocada pelo vento remove o calor da superfície foliar, fenômeno denominado perda de

calor sensível (perceptível). A perda de calor evaporativo (calor latente) ocorre porque a evaporação da água requer energia. No ambiente, folhas sob estresse por temperatura supraótima e por radiação excessiva (Figura 15A) necessitam dissipar grandes quantidades de calor, o que pode ser feito pela emissão de radiação de ondas longas (emissão de infravermelho), pela perda de calor sensível e pela perda de calor latente (TAIZ; ZEIGER, 2009). A razão entre as perdas de calor sensível e evaporativo é denominada razão de Bowen. Em cultivos bem irrigados, a transpiração das plantas é alta, diminuindo assim a razão de Bowen (Figura 15B). Em regiões com velocidade do vento elevada, a razão de Bowen aumenta em função da maior perda de calor sensível (Figura 15C). Logicamente, quando as perdas de calor sensível aumentam decorrente de ventos, ocorre a remoção da camada limítrofe e aumentam também as perdas por transpiração e alivia o estresse provocado por temperaturas supraótimas.

Folhas largas e grandes não significam uma alta taxa de transpiração por unidade de área foliar e, conseqüentemente, maior resfriamento evaporativo (TURNER et al., 2007). Baixa



Figura 15. Bananeira sob estresse por temperatura supraótima e por radiação excessiva (A); cultivo bem irrigado, transpiração alta, menor razão de Bowen (B); região com velocidade do vento elevada, maior razão de Bowen em função da maior perda de calor sensível (C).

velocidade de vento e grande área foliar podem aumentar a espessura da camada limítrofe, apresentar maior resistência ao movimento de vapor de água da folha para o ar e reduzir a evaporação. Assim, é de se esperar que folhas maiores sejam mais quentes que folhas pequenas. O aumento na velocidade do vento poderá reduzir a espessura da camada limítrofe, esfriar a folha e aumentar a diferença de pressão de vapor da folha para o ar. Sob influência do vento, os limbos rasgam-se em tiras, tornando as folhas menores, modificando a fisiologia das folhas. Desse modo, é de se esperar que o vento atenua o estresse térmico que a folha experimenta, seja por temperatura supraótima e/ou excesso de radiação.

Em várias regiões produtoras, o rasgamento e a perda de partes do limbo da bananeira causado por ventos é um fenômeno generalizado, com conseqüentes efeitos prejudiciais de difícil mensuração. Contudo, se não implica no desprendimento e perda da área foliar ativa, ou mesmo a depender dos tamanhos dos pedaços residuais da folha após o rasgamento, este pode não representar um risco para o desempenho funcional e produtivo da planta.

Cayón (2004) discute resultados experimentais que ilustram os efeitos do rasgamento foliar sobre a temperatura foliar e a taxa fotossintética (Tabela 4). Os efeitos benéficos do vento foram mais evidentes em folhas expostas ao sol que em folhas sombreadas, e reduz a possibilidade da folha alcançar a temperatura de dano termal, que é de 47,5 °C (ROBINSON; GALÁN SAÚCO, 2010). Na estação seca, folhas rasgadas expostas ao sol possuem taxa fotossintética maior que folhas intactas. O rasgamento pode diminuir em 50,00% a taxa de

transpiração durante um período de estresse ambiental devido ao aumento da resistência estomática. A melhor sobrevivência durante a estação seca e a melhor refrigeração, desde que a água não seja um fator limitante, parecem ser efeitos benéficos do rasgamento foliar (CAYÓN, 2004). Isto é, se a velocidade do vento é alta, o ar em movimento reduz a espessura da camada limítrofe na superfície da folha, diminuindo a resistência aerodinâmica dessa camada, e a perda de água passa a ser controlada principalmente pela resistência estomática (TAIZ; ZEIGER, 2009). Dessa forma, a planta refrigera-se melhor com folhas com menor tamanho, como as dilaceradas.

Tabela 4. Efeito do rasgamento foliar sobre a temperatura, transpiração, resistência estomática e taxa fotossintética em bananeiras

	Temperatura da folha (°C)	Resistência estomática (s m ⁻¹)	Transpiração (g cm ⁻² s ⁻¹)	Fotossíntese (g CO ₂ cm ⁻² s ⁻¹)
Folha exposta ao sol				
Estação seca				
Intacta	46,0	24	18,8 x 10 ⁻⁷	-0,160 x 10 ⁻⁷
Dilacerada	40,0	29	5,5 x 10 ⁻⁷	0,097 x 10 ⁻⁷
Estação chuvosa				
Intacta	42,0	5,6	52 x 10 ⁻⁷	0,322 x 10 ⁻⁷
Dilacerada	38,0	5,9	38 x 10 ⁻⁷	0,365 x 10 ⁻⁷
Folha sombreada				
Estação seca				
Intacta	29,0	30	2,4 x 10 ⁻⁷	0,070 x 10 ⁻⁷
Dilacerada	29,5	30	2,7 x 10 ⁻⁷	0,072 x 10 ⁻⁷

Fonte: Extraído na íntegra de Cayón (2004) a partir de dados de Taylor e Sexton (1972).

Apesar do rasgamento foliar conferir alguns benefícios para a planta, quer sejam pelo maior esfriamento da planta sob estresse térmico ou pela maior taxa fotossintética, a extensão

destes benefícios vai depender da intensidade do rasgamento foliar. Dados experimentais de Eckstein (1994) apresentados por Robinson e Galán Saúco (2010) e Soto Ballesterero (2008), evidenciam a influência dos danos mecânicos do vento na dilaceração do limbo e a conseqüente redução na taxa fotossintética em função do tamanho residual do pedaço dilacerado em bananeira 'Dwarf Cavendish' ('Nanica'). As taxas fotossintéticas em folhas não dilaceradas e dilaceradas com pedaços de 100 mm cada, não diferiram, e foi cerca de $20,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Para pedaços de 50 mm e de 25 mm de largura, as taxas fotossintéticas foram de $18,3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $16,5 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$, representando decréscimos de 10,70% e 19,50%, respectivamente, comparada a folhas não dilaceradas. Quando a dilaceração das folhas resultou em pedaços de 12 mm, a taxa fotossintética foi de $13,7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, o que significa um declínio de 33,20%. Provavelmente, esses decréscimos nas taxas fotossintéticas resultam em perdas aproximadamente proporcionais na produtividade do cultivo. Entretanto, essa hipótese requer validação experimental.

Os efeitos dos ventos são mais intensos nas cultivares de porte mais alto. Donato (2003) constatou que a produtividade das cultivares variou com o grupo genômico (potencial genético) e o porte das plantas. As cultivares AAA e AAAA foram mais produtivas que AAB e AAAB, o que era esperado, uma vez que os tipos *Cavendish* e Gros Michel são potencialmente mais produtivos que os tipo Prata. Entretanto, independentemente do grupo, os genótipos de porte mais baixo foram mais produtivos que os de porte mais alto, o que pode estar relacionado à dilaceração do limbo e ao rompimento de raízes, provocados pelo vento, com maior efeito nas cultivares de porte elevado (MOREIRA, 1999).

10. Umidade relativa

A bananeira apresenta melhor desenvolvimento em locais com médias anuais de umidade relativa do ar acima de 80,00%. Umidade relativa alta acelera a emissão, prolonga a longevidade, aumenta a turgidez das folhas, favorece o lançamento da inflorescência e uniformiza a coloração da fruta. Porém, induz o desenvolvimento de doenças foliares como sigatokas amarela e negra, principalmente quando acompanhadas de chuvas e variações de temperatura (ALVES et al., 1997; MOREIRA, 1999). Por outro lado, a baixa umidade do ar proporciona folhas mais coriáceas e com vida útil mais curta, o que pode ser acentuado se associada a ventos de velocidade alta, pelo maior efeito na desidratação do limbo (MOREIRA, 1999).

A umidade atmosférica é um fator regulador das relações hídricas das plantas. Age como uma força propulsora da água no sistema solo-planta-atmosfera mediante a criação de um gradiente de potencial hídrico entre a folha e o ar, pois influencia juntamente com a temperatura, o déficit de pressão de vapor na atmosfera. Cayón (2004) demonstra que as taxas de trocas gasosas de folhas do plátano 'Dominico-Harton' variam com o déficit hídrico do solo e com a umidade relativa do ambiente. Nas plantas submetidas a estresse hídrico, as taxas fotossintéticas, transpiração e condutância estomática foram reduzidas. Entretanto, a transpiração e a condutância estomática foram altas com umidade relativa baixa, diminuindo com aumento da umidade do ar. Esses dados reforçam os mecanismos de economia hídrica ativados pela bananeira quando sob condições de estresses abióticos.

11. Exemplo de caso: variáveis fisiológicas da bananeira em condições semiáridas do Norte de Minas e Sudoeste da Bahia

Será discutido um exemplo para o semiárido brasileiro, particularmente para as regiões Norte de Minas e Sudoeste da Bahia, onde predominam estresses por déficit hídrico e temperaturas supraótimas. Nestas regiões, a bananicultura é conduzida sob irrigação e a 'Prata-Anã' ocupa aproximadamente 85,00% da área cultivada (SEBRAE, 2008). Como a bananicultura na região é desenvolvida sob irrigação, a ocorrência de temperaturas supraótimas constitui o principal fator ambiental limitante da produtividade, quando se considera que o manejo da cultura esteja adequado.

Estresse térmico, acima de 34 °C, ocorre nessas regiões entre os meses de setembro e fevereiro (MARQUES, 2011). Entretanto, notadamente em outubro, as temperaturas ultrapassam 38 °C, e são acompanhadas de excesso de radiação, baixa umidade relativa e ausência ou baixa precipitação (Figura 16). Essas condições dificultam a refrigeração da bananeira, pois ocasiona o fechamento dos estômatos, prejudicando a transpiração, o que pode elevar a temperatura da planta à valores próximos ao ponto de dano termal. A alta demanda evaporativa provocada por esses estresses integridos pode exceder a habilidade da planta para extrair água do solo, ainda que úmido por efeito de irrigações, impedindo o fluxo de água e nutrientes do solo para a planta e a atmosfera. Isto conduz a planta a uma murcha temporária, a fotossíntese decresce, diminui o lançamento de folhas, reduz o número de pencas em plantas jovens e o crescimento dos frutos em plantas que já floresceram.

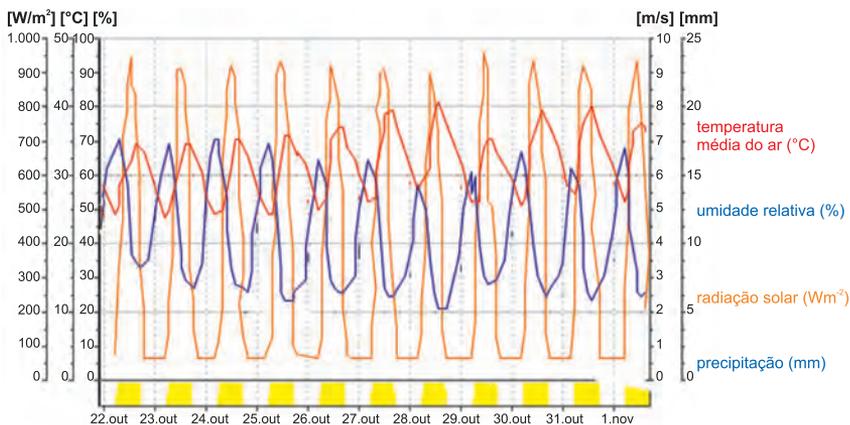


Figura 16. Condições climáticas estressantes, fora dos limites ótimos para a bananeira, típicas do mês de outubro, no semiárido do sudoeste da Bahia. Instituto Federal Baiano – Campus Guanambi, Perímetro Irrigado de Ceraíma, 2008.

A Figura 17 comprova esses impactos negativos no agronegócio bananeiro. Relaciona as temperaturas máximas médias mensais predominantes no Norte de Minas Gerais e Sudoeste da Bahia, e os índices sazonais históricos de oferta e de preço de banana Prata registrados (2003-2008) no Ceasa-MG, cuja origem, é em sua maioria, dessas regiões (CEASAMINAS, 2008).

A Figura 17 ilustra de forma bastante didática a relação inversa entre oferta e preço, clássica na economia, mas especificamente entre temperatura máxima de um determinado mês e o decréscimo na oferta no quarto mês subsequente, resultante dos efeitos prejudiciais do estresse térmico na bananeira. Haja vista os excelentes preços, acima de R\$ 20,00 por caixa, alcançados pela banana nos meses de janeiro e fevereiro, praticamente todo ano, constatados pela análise da série histórica (CEASAMINAS, 2008). Da mesma forma, os

preços antieconômicos recorrentes nos meses de setembro e outubro, quatro meses após a ocorrência de temperaturas mais amenas. Nessas regiões, o período do florescimento à colheita, para bananeiras tipo Prata corresponde a cerca de quatro a cinco meses (Donato et al., 2009), a depender da época de emergência da flor.

Na Tabela 5 são apresentados dados de variáveis fisiológicas, mensurados pelos autores, em Guanambi, Sudoeste da Bahia, região com clima semiárido. As medidas foram tomadas em bananeiras tipo Prata, 'Prata-Anã' (AAB) e seu híbrido 'BRS Platina', anteriormente denominado PA-42-44 (AAAB), submetidas aos sistemas de irrigação por aspersão

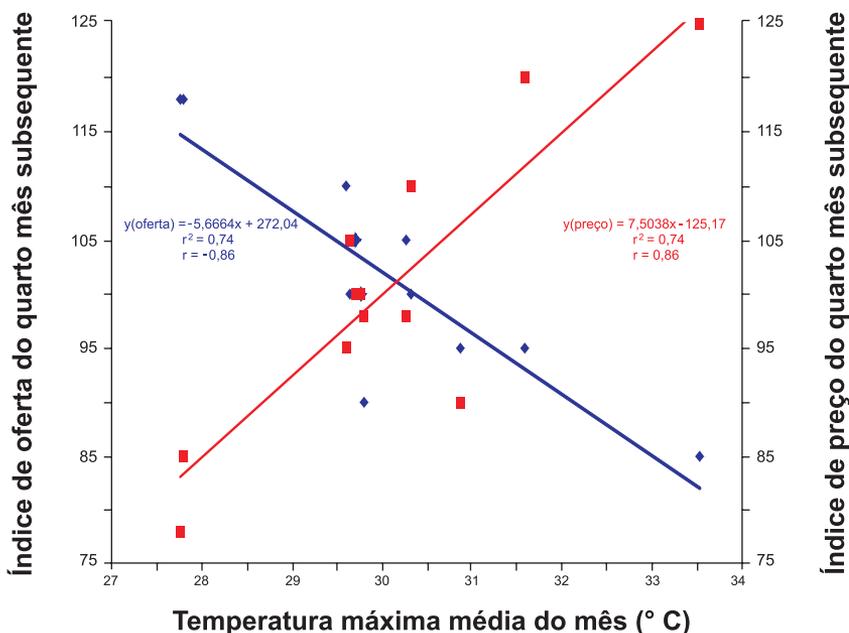


Figura 17. Relações entre índices sazonais de oferta \blacklozenge e de preço \blacksquare de banana tipo Prata (CEASAMINAS, 2008), do quarto mês subsequente, e a temperatura máxima média do mês (° C).

convencional, microaspersão e gotejamento, no segundo ciclo de produção, em plantas em estágio de pré e pós-florescimento precoce, com cerca de 16 folhas vivas. As mensurações foram realizadas na folha três, terceira folha a contar do ápice, e na folha mais velha, décima sexta folha, às 8:00 e às 14:00 horas. Utilizou-se um analisador de gás infravermelho (IRGA), modelo LCPro⁺ da ADC BioScientific Ltda® (Figura 18).

Fotos: Alessandro Arantes



Figura 18. Ilustração da determinação das trocas gasosas na terceira folha em bananeira tipo Prata, com analisador de gás infravermelho.

Os dados (Tabela 5) mostram de forma contundente, as influências dos fatores climáticos (radiação e temperatura) no comportamento fisiológico da bananeira e confirma os resultados discutidos referentes aos trabalhos revisados. De forma geral, alterações na radiação solar incidente, decorrente da posição da folha, folha três (maior exposição à radiação solar) e folha mais velha (totalmente sombreada) conduzem a mudanças significativas em fotossíntese e transpiração. Fato também verificado para a temperatura foliar, consequência do horário de leitura, 8:00 horas (mais fresco) e 14:00 (mais quente).

Tabela 5. Taxas de fotossíntese, transpiração, condutância estomática, resistência estomática, radiação incidente na folha e temperatura foliar, registradas nas folhas três e mais velha, às 8:00 e 14:00 horas, em bananeiras tipo Prata submetidas a sistemas de irrigação por aspersão convencional, microaspersão e gotejamento, Guanambi-BA, 2009.

Variáveis	Aspersão Convencional						Microaspersão						Gotejamento											
	'Prata-Anã' (AAB)		'BRS Platina' (AAAAB)		'Prata-Anã' (AAB)		'BRS Platina' (AAAAB)		'Prata-Anã' (AAB)		'BRS Platina' (AAAAB)		'Prata-Anã' (AAB)		'BRS Platina' (AAAAB)									
	Folha 3	Folha velha	Folha 3	Folha velha	Folha 3	Folha velha	Folha 3	Folha velha	Folha 3	Folha velha	Folha 3	Folha velha	Folha 3	Folha velha	Folha 3	Folha velha								
Fotossíntese A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	19,13	14,73	1,53	1,10	9,25	14,40	3,75	1,08	16,16	9,94	1,59	0,81	17,79	13,07	1,09	1,25	20,39	13,93	1,70	1,41	17,33	15,93	1,40	1,50
Transpiração E ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	4,16	7,27	0,80	0,99	2,16	7,77	1,25	1,96	4,4	4,08	0,87	0,65	3,88	5,15	0,42	0,70	4,36	9,46	0,94	3,06	3,55	8,70	1,21	1,05
Condutância estomática g_s ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	0,55	0,40	0,06	0,02	0,14	0,28	0,11	0,06	0,56	0,15	0,05	0,02	0,40	0,20	0,03	0,02	0,51	0,35	0,06	0,09	0,31	0,31	0,11	0,02
Resistência estomática r_s ($\text{m}^2 \text{ s mol}^{-1}$)	1,82	2,50	16,67	50,00	7,14	3,57	9,09	16,67	1,79	6,67	20,00	50,00	2,50	5,00	33,33	50,00	1,96	2,86	16,67	11,11	3,23	3,23	9,09	50,00
Radição incidente na folha Q_{foliar} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	1477	1536	84	229	1447	1586	549	110	1070	1464	92	116	1212	1547	70	105	1480	1496	87	118	1421	1591	286	90
Temperatura foliar T_{foliar} ($^{\circ}\text{C}$)	30,1	40,7	20,0	36,7	30,0	39,0	26,9	36,3	30,5	36,2	29,7	33,5	30,7	35,4	25,4	31,2	30,2	40,4	28,6	37,9	30,4	40,4	28,5	37,7

As taxas fotossintéticas foram maiores na folha três (9,25 a 20,39 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) comparada à folha mais velha (0,81 a 3,75 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), e maiores às 8:00 horas da manhã que às 14:00 horas, independentemente da cultivar e do sistema de irrigação utilizado. Tais resultados decorrem do fato das cultivares serem muito próximas geneticamente (genitora e progênie) e a lâmina de irrigação aplicada ser a mesma, ainda que com diferentes sistemas de irrigação. Embora ocorra aumento da quantidade de radiação das 8:00 para as 14:00 horas, o aumento de temperatura e mudanças na qualidade da radiação provavelmente determinam os decréscimos nas taxas fotossintéticas.

Por exemplo, às 08:00 da manhã, na bananeira 'Prata-Anã', sob gotejamento, a radiação solar incidente na folha três foi 1.480 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, a temperatura foliar 30,2 °C e a fotossíntese 20,39 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Nas mensurações realizadas às 14:00 horas, os valores foram de 1.496 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 40,4 °C e 13,93 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para as mesmas variáveis, respectivamente. Esses resultados exibem uma redução de 31,70% na taxa fotossintética com a mudança do horário de leitura (8:00 para as 14:00 horas), possivelmente devido ao aumento de temperatura de 33,77% (30,2 °C para 40,4 °C), o que afeta o comportamento estomático e o sistema enzimático. Provavelmente, essa elevação da temperatura comprometeu o funcionamento do sistema enzimático mais que o fechamento estomático. A condutância estomática decresceu 31,37%, de 0,51 $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, às 8:00 horas, para 0,35 $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, às 14:00 horas, como esperado. Contudo, a transpiração aumentou,

o que não traduz um comportamento coerente, mas evidencia o pouco efeito no comportamento estomático, pois em tese, o fechamento estomático, inicialmente, inibe mais a transpiração do que decresce as concentrações intracelulares de CO_2 . Porém, o comportamento ecofisiológico é resultante do balanço dos diversos fatores ambientais e não de um único fator. A temperatura ótima para a carboxilação do CO_2 pela enzima rubisco, ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase-oxigenase é 22 °C. Essa enzima predomina em plantas com mecanismo fotossintético C_3 , como a bananeira. A temperatura ótima para o balanço entre crescimento e desenvolvimento da bananeira é 27 °C (ROBINSON; GALÁN SAÚCO, 2010). O balanço entre as atividades carboxilase e oxigenase da rubisco é governado pelas propriedades cinéticas da enzima, temperatura e concentração dos substratos CO_2 e O_2 . Sob concentração de CO_2 ambiental, um aumento na temperatura, como constatado pelos dados, modifica as constantes cinéticas da rubisco e aumenta a taxa de oxigenação, preferencialmente à carboxilação, isto é, aumenta a fotorrespiração com decréscimo na taxa de fotossíntese líquida da planta (TAIZ; ZEIGER, 2009). De forma geral, abaixo de 30 °C a produtividade quântica da fotossíntese, mol de CO_2 fixado por quantum absorvido, em plantas C_3 , é normalmente elevada e acima desse limite apresenta queda significativa.

Adicionalmente, alterações na qualidade da radiação fotossinteticamente ativa subsidiam as explicações, uma vez que a quantidade de radiação incidente na folha praticamente foi a mesma e próximo do ótimo para a bananeira (ROBINSON; GALÁN SAÚCO, 2010, TURNER et al., 2007). Entretanto, a radiação predominante às 8:00 horas da manhã apresenta

comprimento de onda na faixa do vermelho e de vermelho distante, com efeito mais significativo para o processo fotossintético (LARCHER, 2000).

A análise dos dados mensurados nas folhas três e mais velha (décima sexta folha), às 8:00 da manhã, na bananeira 'Prata-Anã', sob gotejamento, evidencia a extinção da radiação ao longo do dossel, resultante do sombreamento exercido pelas folhas de cima. Verifica-se reduções drásticas nas taxas fotossintéticas. Ocorreram decréscimos na radiação solar incidente de 94,00% ($1.480 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na folha três para $87 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na folha mais velha), com proporcional depleção na taxa fotossintética de 91,00% (20,39 para $1,70 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$). A causa da diminuição da taxa fotossintética pode ser imputada ao decréscimo da radiação solar incidente na folha, pois as temperaturas registradas nas folhas três e mais velha foram, respectivamente, 30,2 e 28,6 °C, próximas do ótimo para bananeira.

12. Referências

- ALVES, E.J.; OLIVEIRA, M.A.; DANTAS, J.L.L.; OLIVEIRA, S.L. Exigências climáticas. In: ALVES, E.J. (org.) **A Cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. Brasília: EMBRAPA-SPI; Cruz das Almas: EMBRAPA-CNPMPF, 1997. 585p.
- AVILAN, L.A.; ALVAREZ, C.R. **El mango**. Caracas: Editorial America, 1990. 401p.
- BALHÀR, N.H.R., ÖQUIST, G. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. In: **Photosynthesis and production in a changing environment: a field and laboratory manual**. London: Chapman& Hall, 1993. p.193-205.
- BANANUKA, J.A.; RUBIHAYO, P.R.; TENYWA, M.M. Reactions of Musa genotypes to drought stress. **African Crop Science Journal**, v.7, n.4, p.333-339, 1999.
- BELALCÁZAR CARVAJAL, S.L. **El cultivo del plátano em el trópico**. Cali: Impresora Feriva, 1991. 376 p.
- BELALCÁZAR CARVAJAL, S.L.; VALENCIA, J.A.; ARCILA, M.I. Influencia de la defoliación sobre la producción de plátano Dominico-Hartón (Musa AAB Simmonds). In: ACORBAT. REUNIÓN DE LA ASOCIACIÓN PARA LA COOPERACIÓN EN INVESTIGACIÓN DE BANANO EN EL CARIBE Y EN AMÉRICA TROPICAL, 10; 1991, Tabasco, México. **Anais...** Editores Miguel A. Contreras; José A. Guzmán; Luis R. Carrasco, San José, C.R. p. 525-534. 1994.
- BÖHM, W. **Methods of studing root systems**. New York: Springer verlag, 1979. 190p.
- CAYÓN, D.G.S. Ecofisiología y productividad Del plátano (Musa AAB Simmonds). In: ACORBAT.REUNIÓN DE LA ASSOCIACIÓN PARA LA COOPERACIÓN EM INVESTIGACIÓN DE BANANO EN EL CARIBE Y EN AMÉRICA TROPICAL, 16;2 004, Oaxaca, México. **Anais....** p.172-183.
- CAYÓN, G.; MORALES, H.; CELIS, L.D. Respuestas del plátano Dominico-Hartón (Musa AAB Simmonds) a la defoliación selectiva en la zona cafetera central. **Acta Agronômica**, v.50, n.1- 2: p.20-25, 2000.
- CAVALCANTE, A.T.; SAMPAIO, E.V. de S.B.; CAVALCANTE, U.M.T. interdependência na absorção e redistribuição de fósforo entre

Planta mãe e filha de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.255-259, ago. 2005.

CEASAMINAS. **Banana Prata**: setor de estudos estratégicos Ceasa Minas. Disponível em: <<http://www.ceasaminas.com.br>, 2008>. Acesso em: 12 jan. 2009.

COELHO, E. F.; SANTOS, M. R. dos; SILVA, A. J. P. da; PINHO, R. E. da C.; SANTANA, J. A. Do V. Sistema radicular da bananeira sob diferentes configurações de sistemas de irrigação localizada. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 16; 2006. **Goiânia. Agricultura irrigada no Cerrado**, 2006.

COELHO, E.F.; OR, D. A parametric model for two-dimensional water uptake by corn roots under drip irrigation. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v.60, p.1039-1049.1996.

COSTA, E.L., COELHO, E.F. MARTINS DA SILVA, T.S.M. Absorção de água pela cultura da bananeira Prata-anã nas condições do recôncavo baiano e Norte de Minas. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31; 2002, Salvador. **A engenharia agrícola para o desenvolvimento sustentável, água, energia e meio ambiente**, 2002. 1 CD ROM

DELVAUX, B.; RUFUIKIRI, G.; DUFEY, J. Ion absorption and proton extrusion by banana roots. In: TURNER, D.W; ROSALES, F. E. (eds). **Banana Root System: towards a better understanding for its productive management: Proceedings of an international symposium**. International Network for the Improvement of Banana and Plantain, Montpellier, France, .2005. p.114-121

DONATO, S.L.R. **Comportamento de variedades e híbridos de bananeira (Musa spp.), em primeiro ciclo de produção no Sudoeste da Bahia, Região de Guanambi**, 2003. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) - Faculdade de Agronomia "Eliseu Maciel", Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2003.

DONATO, S.L.R.; ARANTES, A. de M.; SILVA, S. de O. e; CORDEIRO, Z.J.M. Comportamento fitotécnico da bananeira 'Prata-Anã' e de seus híbridos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1508-1515, dez. 2009.

ECKSTEIN, K; ROBINSON, J.C. Physiological responses of banana (Musa AAA; Cavendish subgroup) in the subtropics. (II) influence of climatic conditions on seasonal and diurnal variations in gas exchange of banana leaves. **Journal of Horticultural Science**, v.70; p.157-167, 1995.

- FARIA, H.C. **Avaliação de bananeiras tipo Terra sob irrigação em condições semiáridas**, 2008. 71 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) - Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG, 2008.
- FERNANDES, M.S.; SOUZA, S.R. Absorção de nutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. p.115-152.
- GALÁN SAÚCO, V. Climatologia Del banano. In: RUGGIERO, C. (Coord.). In: **Bananicultura**, Jaboticabal: FUNEP, 2001. p. 171-184.
- GARCIA, R.V. **Sistema radicular de bananeira irrigada por aspersão convencional e microaspersão no Projeto Jaíba - MG**. 2000. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.
- GREGORY, P.J. Development and growth of root systems. In: Gregory, P.J.; Lake, J.V.; Rose, D.A. **Root development and function**. New York: Cambridge University Press. 1987. p.146-166.
- ISMAIL, M.R.; YUSOFF, M.K.; MAHMOOD, M. Growth, Water Relations, Stomatal Conductance and Proline Concentration in Water Stressed Banana (*Musa sp.*) Plants. **Asian Journal of Plant Sciences**, v.3, n.6, p.709-713, 2004.
- KALLARACKAL, J.; MILBURN, J.A.; BAKER, DA. Water Relations of the Banana. III. Effects of Controlled Water Potential, Transpiration, Photosynthesis and Leaf Growth. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.17, n.1, p.79-90, 1990.
- KUMAR N., V.; KRISHNAMOORTHY, L.; NALINA and K.SOORIANATHASUNDHARAM, L. A new factor for estimating total leaf area in banana. **Infomusa**, v.11, n.2, p.42-43, 2003.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA Artes e textos, 2000. 531p.
- MAHOUACHI, J. Changes in nutrient concentrations and leaf gas exchange parameters in banana plantlets under gradual oil moisture depletion. **Scientia Horticulturae**, v.120, p.466-469, 2009.
- MARQUES, P.R.R. **Características agrônômicas de bananeiras tipo Prata sob diferentes sistemas de irrigação**. 2011. 75 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG.

- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed., New York: Academic Press, 1995. 889p.
- MARTIN-PRÉVEL. Exigências nutricionais da bananeira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE BANANICULTURA, I, 1984, Jaboticabal, **Anais...** Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1984. p.118-134.
- MOREIRA, R.S. **Banana, teoria e prática de cultivo**. 2. ed. São Paulo, SP: Fundação Cargill, 1999. 1CD-ROM.
- NOVAIS, R. **Transporte de nutrientes no solo**. Curso de Fertilidade e Manejo do solo, Módulo 3. Brasília, DF: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior, DF, 1996. 35p.
- RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHON, S.E. **Biologia vegetal**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. 906p.
- ROBINSON, J.C.; GALÁN SAÚCO, V. **Bananas and plantains**. 2nd ed. Oxford: CAB International, 2010. 311p. (Crop production science in horticulturae series, 19).
- ROBINSON, J.C.; ANDERSON, T.; ECKSTEIN, K. The influence of functional leaf removal at flower emergence on components of yield and photosynthetic compensation in banana. **Journal Horticultural Science**, v.67, p.403- 410, 1992.
- ROBINSON, J.C.; BOWER, J.P. Transpiration characteristics of banana leaves (cultivar 'Williams') in response to progressive depletion of available soil moisture. **Scientia Horticulturae**, v.30, n.4, p.289-300, November, 1987.
- RODRIGUES, M.G.V.; DIAS, M.S.C.; PACHECO, D.D. Influência de diferentes níveis de desfolha na produção e qualidade dos frutos da bananeira 'Prata-Anã'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.31, n.3, p. 755-762, set. 2009.
- RODRIGUES, M.G.V.; RUGGIERO, C.; NATALE, W.; PACHECO, D.D. Nutrição e produção da bananeira 'Prata-Anã' adubada com zinco e boro diretamente no rizoma, via muda desbastada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.29, n.3, p.645-651, dez. 2007.
- ROSALES, F.E.; ALVAREZ, J.M.; VARGAS, A. Guia prática para La producción de plátano con altas densidades – Experiencias de América Latina y el Caribe. In: ROSALES, FE. (Ed). **Biodiversity Internacional**, Montpellier, Francia. 2008.

RUFYKIRI, G.; DUFEY, J.E.; ACHARD, R.; DELVAUX, B. Cation exchange capacity and aluminumcalciummagnesium binding in roots of bananas (*Musa spp.*) cultivated in soils and in nutrient solutions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.33, p.9911009, 2002.

SANT'ANA, J. A. V.; COELHO, E. F., FARIA, M. A., COELHO FILHO, M. A. SANTOS, C. C. Distribuição de raízes de bananeira na fase de floração sob diferentes sistemas de irrigação no semiárido da Bahia. In: CONGRESO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA., 9., CLIA; CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA., 39., 2010. **A engenharia agrícola e o desenvolvimento das pequenas propriedades rurais**, 2010.

SANT'ANA, J.A. do V. **Distribuição de raízes de bananeira no solo irrigado por diferentes sistemas de irrigação em condições semiáridas**. 2011. 79 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG., 2011.

SANTANA JÚNIOR, E.B; SANTANA, J.A. do V.; COELHO, E.F.; NASCIMENTO JUNIOR, A.L.; COELHO FILHO, M. A. Distribuição de Raízes de Bananeira Irrigada Sob duas Densidades de Plantio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA., 38., 2009, Juazeiro (BA). **Planejamento da Bacia Hidrográfica e o Desenvolvimento da Agricultura**, 2009.

SANTOS, M. R. dos; COELHO, E. F.; COSTA, E. L. Distribuição de raízes de bananeira Prata-Anã irrigada por microaspersão em condições semiáridas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA TECNOLOGIA COMPETITIVIDADE SUSTENTABILIDADE., 18., **Anais...**Florianópolis: Sociedade Brasileira de fruticultura, 2004.

SEBRAE/ESPM.. Banana. In: **Estudos de Mercado SEBRAE/ESPM 2008:** relatório completo, Brasília – DF, 2008, 87 p.(Série Mercado)

SHEPHERD, K. Banana: taxonomia e morfologia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE BANANICULTURA, I, 1984, Jaboticabal, **Anais...** Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1984. p.50-74.

SILVA, A. J. P. da; COELHO, E. F.; PINHO, R. E. da C. de; SANTOS, M. R. dos; COELHO FILHO, M. A. Zonas de extração de água pela bananeira sob diferentes configurações de sistemas de microaspersão. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM., 16., 2006, Goiânia. **Agricultura irrigada no Cerrado**, 2006.

- SILVA, J.T.A.; BORGES, A. L. Solo, nutrição mineral e adubação da bananeira, **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, n. 245, p. 25-37, jul./ago. 2008.
- SILVA, S.O.; ALVES, E.J.; LIMA, M.B.; SILVEIRA J.R.S. Bananeira. In: BRUCKNER C. H. (Ed.). **Melhoramento de fruteiras tropicais**. Viçosa: UFV, 2002. p.101-157. il.
- SIMMONDS, N.W. **Los plátanos**. Barcelona: Blume, 1973. 539 p.
- SOTO BALLESTERO, M. **Bananos; cultivo e comercializacion**. 2. ed. San José, Costa Rica: Litografía e Imprensa LIL, 1992. 674 p.
- SOTO BALLESTERO, M. Bananos: técnicas de producción, poscosecha y comercialización. In: ESCUELA de Agricultura de la Región Tropical Húmeda. Guácimo, Costa Rica, 2008. [CD-ROM].
- STOVER, R.H.; SIMMONDS, N.W. **Bananas**. 3rd ed. Longman, London, 1987. 468p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.
- THOMAS, D.S.; TURNER, D.W. Banana (*Musa sp.*) leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence in response to soil drought, shading and lamina folding. **Scientia Horticulturae**, v.90, n.1-2, p.93-108, October, 2001.
- THOMAS, D.S.; TURNER, D.W.; EAMUS, D. Independent effects of the environment on the leaf gas exchange of three banana (*Musa spp.*) cultivars of different genomic constitution. **Science Horticulturae**. v.75, p.41-57, 1998.
- TURNER, D.W. The response of the plant to the environment. In: GOWEN, S. (Ed.). **Bananas and Plantains**. First Edition. London: Chapman & Hall, 1995. chap.8, p. 206-229.
- TURNER, D.W. Factors affecting the physiology of the banana root system. In: TURNER, D.W. and ROSALES, F.E. (eds). **Banana Root System: towards a better understanding for its productive management. Proceedings of an international symposium**. International Network for the Improvement of Banana and Plantain, Montpellier, France. 2005, p.107-113

TURNER, D.W.; FORTESCUE, J.A. The physiology of banana (*Musa spp.*) fruit growth – factors that affect bunch initiation. In: REUNIÓN DE LA ASOCIACIÓN PARA LA COOPERACIÓN EM INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO INTEGRAL DE LAS MUSÁCEAS (BANANO Y PLÁTANO), 19 ACORBAT, 2010, Medellín, **Colômbia**. **Memoires - proceedings....** 2010. p.291-296.

TURNER, D.W.; FORTESCUE, J.A.; THOMAS, D.S. Environmental physiology of the bananas (*Musa spp.*). **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.19, n.4, p.463-484, 2007.

TURNER, D.W.; LAHAV, E. The Growth of Banana Plants in Relation to Temperature. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.10, n.1, p.43-53, 1983.

TURNER, D.W.; LAHAV, E. Temperature influences nutrient absorption and uptake rates of bananas grown in controlled environments. **Scientia Horticulturae**, v, 26, n.4, p.311-322, 1985.

TURNER, D.W.; LAHAV, E. Temperature influences the distribution of some nutrients in young banana plants independently of its effect on dry matter. **Scientia Horticulturae**, v, 28, n.1-2, p.47-58, 1986.

TURNER, D.W.; THOMAS, D.S. Measurements of plant and soil water status and their association with leaf gas exchange in banana (*Musa sp.*): a laticiferous plant. **Scientia Horticulturae**, v.77, n.3-4, p.177-193, October, 1998.

ZAFFARI, G.R., LICHTENBERG, L.A., STUKER, H. Grau de suscetibilidade ao frio de cultivares de bananeira em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Cruz das Almas, v.17, n.3, p.69-75, 1995.

ZUCULOTO, M.; LIMA, J.S.S.; COELHO, R.I. Modelo matemático para estimativa da área foliar total de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v.30, n.4, p.1152-1154, dez. 2008.



Irrigação da bananeira

2

Eugênio Ferreira Coelho
Sérgio Luiz Rodrigues Donato
Polyanna Mara de Oliveira
Artenis Jardel Souza Cruz

Relações hídricas II: evapotranspiração e coeficientes de cultura

Capítulo 2

Relações hídricas II: evapotranspiração e coeficientes de cultura

Eugênio Ferreira Coelho
Sérgio Luiz Rodrigues Donato
Polyanna Mara de Oliveira
Artenis Jardel Souza Cruz

1. Introdução

A determinação das necessidades hídricas da bananeira é fundamental para quantificar a água a ser aplicada ao solo durante um evento de irrigação. A bananeira é uma planta hidrófita que requer razoável quantidade de água para manutenção de sua estrutura física, pois apresenta grande área foliar e a massa de água correspondente a 87,5% da massa total da planta. O sistema radicular da bananeira pode ser pouco eficiente na extração de água do solo, e este fato aliado à grande exigência hídrica do pseudocaule demanda umidade do solo sempre em níveis próximos da capacidade de campo (SOTO BALLESTERO, 1992; 2008).

A cultura da bananeira necessita de um suprimento contínuo de água, uma vez que déficits hídricos afetam o crescimento e a

produção da cultura. O suprimento e a manutenção adequada de água à bananeira, por meio da irrigação durante todo o ciclo da cultura, resultam em plantas mais altas, com maior área foliar, acelera o crescimento e aumenta a produtividade comparada às condições de sequeiro, sujeita às incertezas das chuvas tanto em quantidade como em ocorrência.

A quantidade de água necessária à bananeira varia com a fase fenológica da cultura, com as variáveis físicas da cultura e com as condições meteorológicas do ambiente. Estes fatores integrados determinarão um estado de energia no ar junto às folhas, que resultará em gradientes de potenciais responsáveis pela intensidade de transporte de água das raízes às folhas.

2. Efeito do déficit hídrico na bananeira

A literatura informa níveis de precipitação média anual de 2.000 a 2.500 mm, com distribuição uniforme durante o ano para o crescimento satisfatório da bananeira (ROBINSON; GALÁN SAÚCO, 2010). Para plátanos, considera-se necessário 150 mm mês⁻¹ (Cayon Salina, 2004) e para bananeiras 100 a 180 mm mês⁻¹ de precipitação para atender o requerimento hídrico da cultura (VEGA et al., 2007). Trabalhos realizados em Tabuleiros Costeiros do Nordeste e no Norte de Minas têm mostrado que lâminas de água superiores a 1300 mm não têm ocasionado acréscimos significativos à produtividade (COELHO et al, 2003).

Nas condições edafoclimáticas do Polo Juazeiro/Petrolina, Teixeira et al. (2002) observaram demanda hídrica da bananeira 'Pacovan' de 1.210 mm, entre os 120 dias após o plantio e a

primeira colheita, com um valor médio de $3,8 \pm 1,1$ mm dia⁻¹. Para o segundo ciclo, constataram um consumo de 880 mm, com média de $4,0 \pm 1,2$ mm dia⁻¹.

Os primeiros sinais visíveis do estresse de seca na bananeira são murchas prolongadas, seguido de amarelecimento, necrose marginal e sintomas de queimadura das folhas. Em longo prazo, a resposta a déficits de umidade leva à redução do tamanho e do número de folhas vivas por planta, aumento do amarelecimento das folhas, redução no tamanho das plantas, decréscimo na emissão foliar, diminuição no crescimento dos órgãos florais, cachos engasgados, isto é, obstruídos, dedos curtos e, no pior caso, cachos pequenos, com dedos secos e enegrecidos (SOTO BALLESTERO, 1992; ROBINSON; GALÁN SAÚCO, 2010).

A cultura necessita de um suprimento de água e nutrientes adequado na fase vegetativa (0 a 7 meses), que é fundamental para o seu crescimento e desenvolvimento. A deficiência hídrica nesta fase influirá na taxa de desenvolvimento das folhas, no ritmo de emissão foliar, na época da iniciação floral, no número de flores femininas presente na inflorescência e, conseqüentemente, no número de pencas e na produção de cachos (TURNER; FORTESCUE, 2010). Na floração, a deficiência hídrica limita o crescimento das folhas e o número de frutos (ROBINSON; GALÁN SAÚCO, 2010). Na fase de enchimento, afeta o tamanho e a qualidade dos frutos. A área foliar reduzida afeta a taxa de enchimento e provoca maturação prematura de frutos.

As cultivares comerciais mais utilizadas, Prata-Anã e Pacovan (AAB), Grande Naine (AAA) e híbridos tetraplóides (AAAB), como BRS Tropical, BRS FHIA-18, ainda não foram

todas avaliadas quanto ao uso de água. Entretanto, alguns trabalhos de pesquisa apontam/sugerem que essas cultivares respondem diferentemente aos níveis de água no solo. Coelho et al. (2009) submeteram a cultivar BRS Tropical a reduções dos níveis de irrigação de até 90% sob condições subúmidas de Tabuleiros Costeiros e não observaram diferenças significativas nas produtividades. Verificaram também que lâmina líquida, ou efetiva, de pelo menos 871 mm é suficiente para manutenção da sua produtividade em níveis próximos à condição de plena irrigação, o que indica que a cultivar BRS Tropical é tolerante a níveis de água do solo abaixo do normalmente indicado para a 'Prata-Anã'. Silva (2004) obteve diferentes valores totais de ETC para 'Prata-Anã' e 'Pacovan', durante o 1º ciclo, 748,97 mm (5,8 mm dia⁻¹) e 632,29 mm (4,79 mm dia⁻¹), respectivamente, o que sugere maior eficiência de uso de água pela 'Pacovan'. Silva et al. (2004) expuseram as cultivares Prata-Comum, Grande Naine e FHIA-18 a diferentes níveis de irrigação (30, 65, 100 e 135% da ETC da cultura), e constataram que apenas a cultivar FHIA-18 foi influenciada pelos níveis de água aplicados quanto às variáveis de crescimento.

3. Evapotranspiração da bananeira

A evapotranspiração de uma cultura (ETC) representa a quantidade de água evaporada do solo e perdida pela planta num dado período de tempo, sob determinadas condições de solo e da atmosfera. A ETC é um fenômeno de conversão de água da forma líquida para a forma de vapor na superfície do solo (evaporação) e na superfície das folhas pelos estômatos

(transpiração), envolvendo fluxo de massa e de energia na camada atmosférica próxima às superfícies. Assim, ao se quantificar a ET_c , num determinado intervalo de tempo, quantifica-se a necessidade hídrica da cultura naquele intervalo. Essa variável é definida para condições específicas ótimas para o crescimento e desenvolvimento da cultura, ou seja, sem ocorrência de pragas e doenças, deficiências nutricionais e hídricas, estando o solo com água facilmente disponível.

A transpiração consiste na vaporização da água líquida contida nos tecidos das plantas e na remoção do vapor à atmosfera, o que ocorre nos espaços intercelulares da folha, sendo controlada pela abertura e fechamento dos estômatos (ALLEN et al., 1998). O vapor de água move de dentro para fora da folha, na direção da folha para o ar, por diferença de pressão de vapor. O vapor de água difunde através dos estômatos das folhas para a camada limítrofe, que é a camada de ar adjacente à superfície foliar, antes de atingir a atmosfera. A transpiração é um componente importante da regulação térmica das plantas. Com os estômatos fechados, sem transpirar, sob temperatura e radiação excessiva, a planta atinge temperaturas 5°C a mais que o ambiente, superaquece e pode alcançar a temperatura do ponto de dano termal, com queimadura das folhas (ROBINSON; GALÁN SAÚCO, 2010).

A transpiração da bananeira é a componente da ET_c devido exclusivamente à planta e resulta do fluxo de seiva que ocorre entre as raízes e as folhas. No caso da bananeira, o fluxo de seiva ocorre predominantemente no cilindro central do rizoma, com alguma variação quanto à intensidade, dependendo da posição da seção do cilindro central. O fluxo de seiva é

diretamente influenciado pelo déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar, com maior atividade na faixa de 2,5 a 5,5 kPa. É também diretamente relacionado com a radiação solar e com a evapotranspiração de referência (LU et al., 2002).

Uma aproximação física da evapotranspiração é dada pela equação de Penman-Monteith, que deriva da combinação do balanço de energia e da função de transferência de vapor. Isso resulta num modelo simulador do fenômeno natural da evapotranspiração (ALLEN et al, 1992).

$$ET_c = \frac{\Delta \cdot (R_n - G) + \rho \cdot c_p \cdot \frac{(e_a - e_d)}{r_a}}{\Delta + \gamma \cdot \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \quad (1)$$

Em que: ET_c = evapotranspiração da área cultivada em energia equivalente ($MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$); R_n = radiação líquida na superfície da cultura ($MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$); G = fluxo de calor sensível no solo ($MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$); ρ = densidade do ar ($kg\ m^{-3}$); c_p = calor específico do ar = $0,242\ MJ\ kg^{-1}\ ^\circ C$; $(e_a - e_d)$ = déficit de pressão de vapor (kPa); Δ = inclinação da curva de pressão de vapor versus temperatura do ar ($kPa\ ^\circ C^{-1}$); γ = constante psicrométrica ($kPa\ ^\circ C^{-1}$); r_a = resistência aerodinâmica à transferência de calor da superfície da folha para a atmosfera ($dia\ m^{-1}$); r_s = resistência do dossel vegetativo à difusão do vapor do interior dos estômatos para o ar ($dia\ m^{-1}$).

A evapotranspiração é diretamente dependente da radiação líquida na superfície vegetada, que é função do albedo. Este, por sua vez, varia com a intensidade de cobertura vegetal e a umidade da superfície do solo. É dependente também do fluxo de calor sensível no solo, sendo menor ou maior com

o aumento ou redução do mesmo, respectivamente; leva em conta a resistência aerodinâmica (r_a) tanto ao calor sensível quanto à transferência de vapor da superfície vegetada para o ar e considera também a resistência da superfície vegetada. A resistência aerodinâmica responde inversamente à rugosidade do dossel vegetativo, que por sua vez, está relacionada à altura do mesmo e à velocidade do vento. A elevação da velocidade do vento, bem como da rugosidade da superfície vegetada, reduz a r_a . A resistência do dossel é proporcional à resistência estomática das folhas e inversamente proporcional ao índice de área foliar, o que depende da área foliar, idade e condição da folha (ALLEN et al., 1998).

A evapotranspiração sob mesma condição de disponibilidade de energia e sem limitação de água para a cultura é influenciada, principalmente pela velocidade do vento e pela diferença de pressão de vapor, conforme a lei de Dalton (BRUTSAERTI, 1982).

Robinson e Alberts (1986) mostraram que a evapotranspiração da bananeira é fortemente dependente do déficit de pressão de vapor (DPV) do ar, isto é, diferença entre a pressão de vapor do ar saturado e do ar numa dada condição. Em condições de baixos DPV, as reduções na transpiração (evapotranspiração) são menores que em condições de elevados DPV. Sob elevado DPV (15–20 hPa), as plantas responderam com rapidez à redução de umidade do solo, sendo que quando o solo atingiu -75 kPa a transpiração reduzira 73%. Os autores observaram que o início de estresse na bananeira ocorreu com o potencial de água do solo entre -20 e -25 kPa, o que correspondeu a 20% de redução da água disponível do solo.

A evapotranspiração é um processo que envolve uso ou dissipação de energia líquida disponível, e pode ser expressa em termos de calor latente de vaporização (λ), cujos valores dependem da temperatura ambiente. Por exemplo, a 20°C, $\lambda = 2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$, enquanto que a 5°C, $\lambda = 2,48 \text{ MJ kg}^{-1}$. Em média, adota-se o valor de $\lambda = 2.45 \text{ MJ kg}^{-1}$, o que significa que são necessários 2,45 MJ para evaporar 1,0 kg de água. Considerando a densidade da água igual à unidade, 1,0 kg de água corresponde a 1 litro e, portanto, para evaporar 1 mm são necessários $2,45 \text{ MJ m}^{-2}$.

A dissipação de energia absorvida pela bananeira 'Pacovan' foi medida por Teixeira (2001), sendo que aos 124, 214, 322 e 438 dias após o plantio, o fluxo de calor latente no dossel da bananeira (energia usada nos processos de evaporação da água e transpiração) correspondeu a 75, 82, 87 e 94% do saldo da radiação solar, respectivamente. O fluxo de calor do solo representou, no mesmo período, 23, 16, 12 e 5% do saldo da radiação solar.

A evapotranspiração de uma cultura, conforme mencionado, depende da altura da planta, da área foliar e da condutância estomatal, o que é específico para cada cultura. Uma alternativa consiste em usar uma cultura de referência, no caso do Brasil, a grama Batatais, com altura entre 0,08 e 0,15 m, cobrindo completamente o solo, com umidade do mesmo em níveis ótimos (limite superior da disponibilidade de água do solo). A evapotranspiração nessas condições é chamada de evapotranspiração de referência (ET_o), que pode ser obtida por diversas equações, tais como: Penman1948, Penman 1963, Penman FAO24, Hargreaves, Blaney Criddle FAO24, Radiação FAO 24, tanque classe A - FAO 24, descritas por Allen et al. (1998).

A ET_c pode ser obtida com base na ET_o , com um fator denominado coeficiente de cultura (K_c):

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (2)$$

O K_c é a razão entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de referência. Constitui-se uma variável indispensável à determinação da necessidade hídrica de uma cultura. É um fator de correção da estimativa da evapotranspiração da bananeira em função da evapotranspiração de referência (ET_o) da grama Batatais. O K_c poderá ser usado como um único valor ou pode ser expresso na forma de um coeficiente basal (K_{cb}) e um coeficiente de evaporação de água do solo (K_e), onde $K_c = K_{cb} + K_e$. Nesse caso, a ET_c pode ser calculada por:

$$ET_c = (K_{cb} + K_e) \cdot ET_o \quad (3)$$

O K_{cb} expressa a razão ET_c/ET_o numa condição em que a superfície do solo se apresenta seca, mas a transpiração ocorre em taxa potencial. O K_e expressa o componente da evaporação da água do solo. K_e será máximo após uma chuva ou irrigação quando a superfície do solo encontra-se saturada e pode ser nulo com a superfície do solo completamente seca. Jensen et al. (1990) define o K_c dual como:

$$K_c = K_{cb} \cdot K_a + K_e \quad (4)$$

Em que: K_a é um coeficiente adimensional que depende da disponibilidade de água do solo e tem o valor unitário, a não ser que a disponibilidade de água do solo limite a transpiração da cultura, quando o mesmo assume valores inferiores a 1.

Nesse caso, o K_c será menor que o K_{cb} , sendo $K_e = 0$. O valor de K_a depende da disponibilidade de água do solo, o que está relacionado às características físicas do solo e aos padrões de distribuição de raízes. Jensen et al. (1990) citam uma equação baseada unicamente na disponibilidade de água do solo para determinação do K_a :

$$K_a = \frac{\ln(A_w + 1)}{\ln(101)} \quad (5)$$

Em que: A_w é a percentagem de água disponível do solo na capacidade de campo, isto é, $A_w = 100\%$ e $K_a = 1$. A variação de K_a de forma simples foi sugerida por Boonyatharokol & Walker (1979) citados por Jensen et al. (1990) da seguinte forma:

$$K_a = 1 \text{ para } A_w > 50\% \text{ e } K_a = A_w/50 \text{ para } A_w \leq 50\%.$$

O K_c único, que representa um valor médio acima do basal, é mais usado em condições de campo, dada a maior simplicidade de operação com uso de artifícios simples como calculadoras. O K_c dual é mais usado em condições de irrigação de alta frequência, com exigência de melhor critério de manejo de água. O valor de K_c varia ao longo do ciclo da cultura desde um valor inicial próximo ou igual a 0,40, crescendo numa taxa menor até a floração (0,85) com aumento nessa taxa até passar por um máximo (1,1), quando da ocorrência do máximo crescimento dos frutos (dedos). Diminui depois com a maturação dos frutos (0,80), quando o cacho é colhido e a planta filha em fase pré-floração passa a representar a touceira, sendo que o K_c volta a valores equivalentes a esse estágio fenológico. Nos dois primeiros ciclos da cultura, a diferenciação do K_c ocorre

de forma única no plantio. Entretanto, a partir do segundo ciclo, é comum no mesmo plantio haver relevante diferença entre os estádios fenológicos das touceiras, o que implica em decidir por um Kc da fase mais representativa da cultura.

O desenvolvimento da bananeira pode ser dividido em quatro fases fenológicas (ALLEN et al., 1998). Fase 1: inicial - do plantio até 10% de cobertura da vegetação; fase 2: desenvolvimento vegetativo - ocorre após a fase 1 até 70-80% de cobertura; fase 3: produção - após a fase 2 até final de crescimento dos frutos; fase 4: maturação - abrange a maturação e a colheita (Tabela 1). Essa divisão das fases inclui em uma só classe a floração e o enchimento de frutos, cujas necessidades hídricas são diferentes. Outra divisão das fases fenológicas pode ser feita considerando o crescimento vegetativo (tempo decorrido do plantio ao aparecimento do ramo floral), floração que compreende o tempo do aparecimento do ramo floral ao vingamento dos frutos e crescimento dos frutos até a colheita (Tabela 2). No primeiro ciclo da cultura, essas fases são devidamente caracterizadas em toda a área, entretanto, a partir do segundo ciclo, em virtude de antecipações e atrasos das plantas, ocorre uma desuniformidade das fases dentro de uma mesma área.

Tabela 1. Período em dias dos estádios fenológicos da cultura da bananeira nas condições do Mediterrâneo.

Ano (ciclo)	Estádios				
	Inicial	Desenv.Veget.	Produção	Maturação	Total
1	120	90	120	60	390
2	120	60	180	5	365

Fonte: adaptado de Allen et al. (1998).

Tabela 2. Escala fenológica da cultura da bananeira para as condições tropicais.

Fase	Descrição	Duração Média
Vegetativa	Crescimento vegetativo do pseudocaule desde o plantio até o aparecimento do primeiro ramo floral	Do 0 ao 7º/9º mês
Floração	Desenvolvimento da inflorescência desde o aparecimento do ramo floral até o vingamento dos frutos	1 mês
Crescimento dos frutos	Crescimento e desenvolvimento dos frutos até o tamanho máximo dos mesmos	Do 8º/10º ao 11º/13º mês

A partir do segundo ciclo, após o corte da planta-mãe do primeiro ciclo, as três fases podem ocorrer na mesma sequência como no primeiro ciclo ou com sobreposição das fases na mesma área. O período de floração apresenta a duração de 20 dias, entre o sétimo e o nono mês, desde a emissão da inflorescência até o final da floração.

Doorembos e Kassan (1984) recomendaram valores de Kc para a bananeira em função do tempo decorrido do plantio (Tabela 3). O Kc tem sido determinado nas condições tropicais do Brasil por diferentes metodologias, obtendo-se algumas variações desses valores.

Tabela 3. Coeficientes de cultura recomendados por Doorembos & Kassan (1984) para a bananeira no primeiro ciclo de produção.

Meses após o plantio (Primeiro ciclo de produção)											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,40	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70	0,85	1,00	1,10	1,10	0,90	0,80

Allen et al. (1998) sugeriram coeficientes de cultura com base nos estádios fenológicos estabelecidos com três valores, para a partir dos mesmos se determinar todo o ciclo (Tabela 4).

Tabela 4. Coeficientes de cultura (Kc) recomendados por Allen et al. (1998) para dois ciclos de produção da bananeira.

Ano (ciclo)	Kc _{in}	Kc _{mid}	Kc _{final}
1	0,5	1,10	1,0
2	1,0	1,20	1,1

No caso do uso do Kcb, Allen et al. (1998) sugeriram variações dos coeficientes (Tabela 5).

Tabela 5. Coeficientes de cultura basal (Kcb) recomendados por Allen et al. (1998) para dois ciclos de produção da bananeira.

Ano (ciclo)	Kcb _{in}	Kcb _{mid}	Kcb _{final}
1	0,15	1,05	0,9
2	0,6	1,10	1,05

Em condições normais de cultivo, a ETc atual ou real (ET_R) pode ser menor que a determinada na equação 1, seja por estresse hídrico induzido às plantas, por irrigação com déficit, ou ainda por efeito de tensões osmóticas devido à salinidade. O molhamento de parte da superfície do solo reduz o componente da evaporação. Nesse caso, onde a evapotranspiração é inferior às condições de manejo com plena lâmina de irrigação, a ET_R pode ser calculada pela equação (ALLEN et al., 2007).

$$ET_R = Kc_{\text{atual}} \cdot ET_o \quad (6)$$

Em que: ET_R é a evapotranspiração da cultura na condição atual ou real (mm dia⁻¹); Kc_{atual} é o coeficiente de cultura na condição atual ou real (adimensional). O Kc_{atual} pode ser expresso como o produto K_c·K_a. O Kc_{atual}, no caso de sistemas de irrigação

localizada, onde apenas parte da superfície do solo é molhada, pode ser determinado pela Equação:

$$K_{c_{\text{atual}}} = K_s \cdot K_L \cdot K_c \quad (7)$$

Em que: K_s é o coeficiente de ajuste devido ao déficit de água no solo (adimensional) e K_L é o coeficiente de ajuste devido à aplicação localizada da água (adimensional).

Pereira & Allen (1997) propuseram que a relação para K_s quando a umidade atual do solo for menor que θ_c pode ser descrita pela Equação:

$$K_s = \frac{(\theta_a - \theta_{cc})}{(\theta_c - \theta_{cc})} \quad (8)$$

Em que: θ_a = umidade atual do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e θ_c = umidade crítica do solo.

A determinação do coeficiente de ajuste devido à aplicação localizada da água (K_L) pode ser feita pelas equações apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Equações para determinação do coeficiente de ajuste (K_L).

Equação	Fonte
$K_L = P_s + 0,15(1 - P_s)$	Keller (1978)
Se $P_s \geq 0,65 \rightarrow K_L = 1,0$ Se $0,20 < P_s < 0,65 \rightarrow K_L = 1,09 P_s + 0,3$ Se $P_s \leq 0,20 \rightarrow K_L = 1,94 P_s + 0,10$	Fereres (1981)
$K_L = 0,1\sqrt{P_s}$	Keller & Bliesner (1990)

P_s - fração de área molhada ou sombreada, prevalecendo o maior valor.

Qualquer uma das equações pode ser usada para a bananeira, entretanto, a de Keller (1978) tende a reduzir mais o Kc_{atual} em comparação com as de Keller & Bliesner (1990) e Fereres (1981), que afeta menos o Kc_{atual} . Quando não se conhece a fração da área molhada ou sombreada (P_s), o coeficiente de ajuste devido à aplicação localizada da água (K_L) também pode ser obtido pela Tabela 7, com uso da equação de Keller (1978) para a cultura da bananeira em diferentes fases de crescimento.

Tabela 7. Coeficiente de redução (K_L) para a bananeira conforme a área de ocupação da planta obtida com uso da equação de Keller citada por Santos et al. (2001).

Área de ocupação (m ²)	Meses após o plantio		
	4	6	≥7
4,0	1,00	1,00	1,00
7,5	0,57	0,85	1,00
9,0	0,51	0,73	1,00

Bhattacharyya e Madhava Rao (1985) determinaram valores de Kc variando de 0,68 a 1,28 e um consumo anual de água de 1.560 mm, com solo sem cobertura, para a cv. Robusta. Nas Ilhas Canárias, Santana et al. (1992) obtiveram valores de Kc entre 0,48 e 1,68 para a bananeira, com a evapotranspiração da cultura obtida pelo balanço hídrico em lisímetros e a evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith. Os valores de evapotranspiração diária variaram entre 1,5 e 4,6 mm dia⁻¹ ao longo do ano com um consumo anual de 1.127 mm.

Os coeficientes de cultura obtidos nas condições tropicais do Brasil não diferem muito daqueles obtidos em outras condições. Coelho et al. (2006) encontraram para as condições

edafoclimáticas do Recôncavo da Bahia coeficientes de cultura em uma amplitude de 0,44 a 0,89 e 0,58 a 1,18 para o primeiro ciclo das cultivares Grande Naine e Prata-Anã, respectivamente (Figura 1).

Para uma precipitação total anual de 1.262 mm e evaporação total anual do tanque classe A de 2.055 mm, na região de Tabuleiros Costeiros da Bahia, os coeficientes de cultura mais adequados para a cultivar Prata-Anã no terceiro ciclo corresponderam a 1,25 vezes os sugeridos por Doorembos e Kassan (1984). No mesmo local, Silva et al. (2007) obtiveram coeficiente médio de cultivo (Kc) de 0,93 para a bananeira na fase de produção, tomado a partir dos valores de ETo determinados pelo método do tanque classe A e a ETc determinada pelo balanço hídrico do solo.

Para as condições climáticas do Norte de Minas Gerais, com precipitação total anual de 717 mm e evaporação do tanque

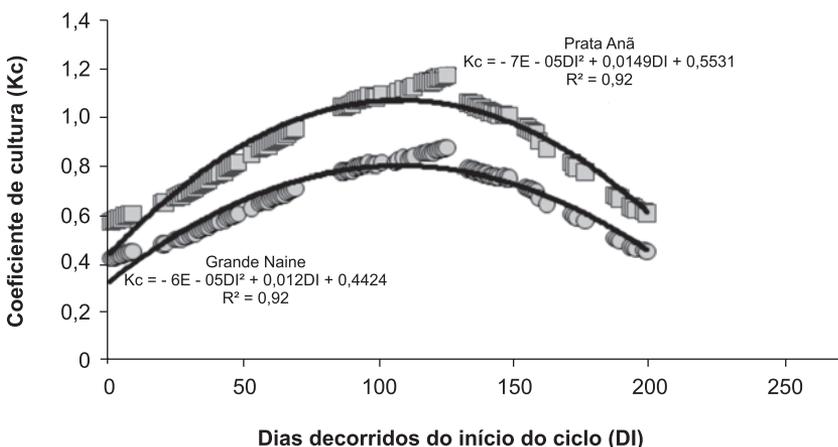


Figura 1. Coeficientes de cultura (Kc) para a bananeira ‘Grande Naine’ e ‘Prata-Anã’ para as condições dos Tabuleiros Costeiros do Recôncavo Baiano, Cruz das Almas, 2002.

classe A de 2.438 mm, Costa e Coelho (2003) constataram resposta semelhante em termos de coeficiente de cultura, isto é, os valores mais adequados corresponderam a 1,25 vezes os sugeridos por Doorembos e Kassan (1984). Deve-se ressaltar que esses coeficientes de cultura foram obtidos pelo método inverso, ou seja, diferentes níveis de irrigação (diferentes coeficientes de cultura) foram aplicados à bananeira e a partir dos resultados de produtividade chegou-se aos coeficientes que maximizaram as produtividades.

Nas condições edafoclimáticas do Polo Juazeiro/Petrolina, o coeficiente de cultura foi obtido determinando a evapotranspiração da cultura pelo método da razão de Bowen e a evapotranspiração potencial por Penman-Monteith modificado (TEIXEIRA et al., 2002). Os valores situaram-se entre 0,6 e 1,1 e entre 1,1 e 1,3 no primeiro e segundo ciclos, respectivamente (Figura 2).

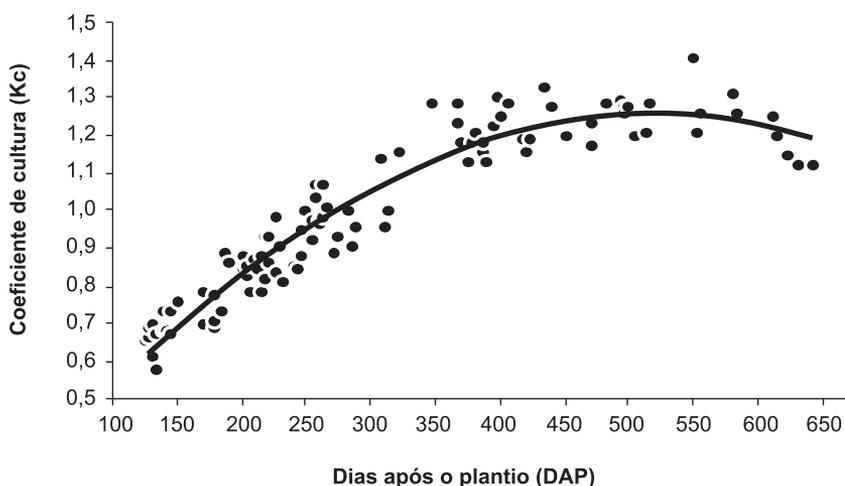


Figura 2. Coeficientes de cultura da bananeira (Kc) em Petrolina - PE, em função dos dias após o plantio (DAP).

Fonte: Teixeira et al. (2002).

Também, nas condições do Polo Petrolina-Jauzeiro, Bassoi et al. (2000) avaliaram o coeficiente de cultura da bananeira 'Pacovan' nas condições de Petrolina. O Kc foi de $0,67 \pm 0,30$ (tanque classe A) e $0,78 \pm 0,30$ (PM-FAO) desde o plantio até o final do estágio vegetativo (0 a 211 dap), aumentando para $0,89 \pm 0,31$ (tanque classe A) e $1,07 \pm 0,36$ (PM-FAO) durante o florescimento (212 a 333 dap), e para $0,95 \pm 0,46$ (A) e $1,11 \pm 0,46$ (PM-FAO) na primeira colheita e em parte do segundo florescimento (334 a 444 dap). Os valores de Kc decresceram para $0,82 \pm 0,37$ (tanque classe A) e $1,02 \pm 0,43$ (PM-FAO) (445 a 658 dap), com o final do primeiro florescimento e durante a segunda colheita.

Nas condições da chapada do Apodi – CE, Costa (2009) e Barroso et al. (2010) encontraram ETc média diária da bananeira cultivar "Pacovan Apodi", durante o segundo e terceiro ciclo, de 4,84 e 5,68 mm dia⁻¹, respectivamente, com ETc média total de 1.381,17 mm para o terceiro ciclo. Em Pentecoste, também no Ceará, Silva (2004) obteve a ETc de 5,8 mm dia⁻¹ para a 'Pacovan' e de 4,79 mm dia⁻¹ para a 'Prata-Anã', o que correspondeu a uma evapotranspiração de 748,97 mm e 632,29 mm, respectivamente, para as duas cultivares de bananeira durante o 1º ciclo. Os valores médios de Kc nos estádios, inicial (Crescimento 2 – período entre 90 dias após o plantio até 30% das plantas com cachos lançados), meio (Produção 1 – período com 30% a 50% das plantas com cachos lançados) e final (Produção 2 – período com mais de 50% das plantas com cachos lançados) foram de 0,92, 1,07 e 0,98, respectivamente. Tais valores diferiram dos encontrados por Costa (2009) que foram 1,09; 1,21 e 0,71 para a mesma cultivar no segundo ciclo.

4. Reposta da bananeira a diferentes níveis de água

A resposta da cultura da bananeira a diferentes níveis de irrigação depende primeiramente das condições meteorológicas locais, que resultam em diferentes combinações de evapotranspiração e constante térmica. Essa resposta está associada às características das cultivares, tais como rugosidade, altura de planta e área foliar. Estas características influenciam diretamente a resistência aerodinâmica. Outros fatores como espaçamento da cultura, método de irrigação e práticas culturais como cobertura do solo podem acarretar diferentes respostas da cultura à irrigação.

A irrigação afeta significativamente a cultura da bananeira em todos seus estádios fenológicos, de modo que os efeitos em uma fase influenciam as fases posteriores de crescimento e desenvolvimento. Em geral, tem-se observado que o incremento da lâmina de irrigação implica em ganhos no crescimento e na produtividade da cultura até níveis equivalentes a 120 – 140% da ETo (GOENAGA; IRIZARI, 2000; COELHO et al., 2006). No entanto, a adoção de níveis altos de irrigação precisa estar atrelada a uma análise de custo-benefício.

4.1. Efeito da irrigação no crescimento da bananeira

Quando se considera o crescimento das plantas de bananeira como uma resultante principalmente das variáveis: altura de planta, área foliar, diâmetro do caule, número de folhas;

as pesquisas mostram que o diâmetro de caule e a área foliar são as variáveis que mais influenciam o crescimento de cultura. Trabalho como o de Shongwe et al. (2008) verificaram o efeito dos níveis de irrigação (40, 65, 80 e 100% da ETc) nas variáveis: número de folhas, comprimento e largura das folhas, área foliar, índice de área foliar, intensidade de cor verde e altura de plantas. Esse autores concluíram que as variáveis apresentaram melhor comportamento para níveis de água entre 80 e 100% da ETc.

Outros trabalhos envolveram diversas cultivares de banana, como o de Coelho et al. (2002) que observaram efeito da lâmina de irrigação apenas para a área foliar dentre os parâmetros biométricos analisados (altura de planta, diâmetro de caule e área foliar), nas cultivares Grande Naine e Prata-Anã nas condições do Recôncavo da Bahia. Nesse trabalho, a análise de regressão da variável dependente (área foliar) em função da lâmina líquida aplicada resultou numa função quadrática do tipo $AF = -4 \cdot 10^{-5} LI^2 + 0,0146LI + 14,215$, com $R^2 = 0,9747$, em que, a área foliar máxima estimada foi de 15,54 m², considerando dados médios das duas cultivares numa faixa de lâmina de irrigação entre 0 e 500 mm.

Trabalho de Silva et al. (2004) detectou influência de níveis de irrigação para a cultivar FHIA-18, especificamente no número de folhas vivas e no diâmetro do pseudocaule, sendo que essas variáveis tiveram comportamento linear com os níveis de irrigação, que oscilaram de 30 a 135% da ETm. O diâmetro de caule foi a única variável influenciada pelos níveis de água (0,75; 0,95; 1,1 e 1,35 da ETm) no caso da bananeira 'Terra', onde os maiores diâmetros de pseudocaule ocorreram para as

maiores lâminas aplicadas (COELHO et al., 2009b). No caso da cultivar BRS Tropical, Coelho et al. (2009a) detectaram efeito de níveis de água (12% a 100% da ET_m) apenas na área foliar.

Cruz (2012) avaliando o efeito de diferentes lâminas de irrigação - 289,4 mm (25% da ET_o), 578,8 mm (50% da ET_o), 868,2 mm (75% da ET_o), 1157,6 mm (100% da ET_o) e 1447,1 mm (125% da ET_o) aplicadas aos genótipos 'Prata-Anã', 'Grande Naine', 'Princesa', 'FHIA-18' e 'BRS Platina' na região norte de Minas Gerais observou que a lâmina de irrigação de 1447,1 mm (125% da ET_o) proporcionou o maior crescimento da planta para todas as variáveis avaliadas ao longo de todo o período vegetativo da cultura, para a média dos cinco genótipos estudados, com a maior altura de planta, maior área foliar e maior perímetro de pseudocaule estimado aos 338 dias após o transplântio, momento em que 85% das plantas da área experimental haviam emitido a inflorescência. Nesse trabalho o autor observou que 'Princesa' esteve entre os genótipos com maior altura de planta ao longo do período de crescimento das plantas e o genótipos Grande Naine entre os genótipos com menor altura. O genótipo 'Prata-Anã' esteve entre os com maior área foliar e número de folhas ao longo do período vegetativo da cultura. O 'FHIA-18' aos 338 dias após o transplântio externou o maior perímetro de pseudocaule, sendo superior a todos os outros genótipos e a maior altura de planta estimada (3,23 m) para a lâmina de irrigação de 917,17 mm (79,23% da ET_o). A área foliar total, média dos genótipos estudados, expressou comportamento quadrático em função da lâmina de irrigação com máxima área foliar estimada (12,29 m²) para a lâmina de 922,14 mm correspondente a 79,66% da ET_o.

4.2. Efeito da irrigação na produtividade da bananeira

O efeito da irrigação na produtividade das culturas se traduz, de modo geral, numa relação polinomial quadrática. Tem-se o máximo da função para uma condição ótima de umidade e potencial de água no solo seguido de uma redução devido ao excesso de água no solo, acima do limite superior da disponibilidade de água, preenchendo indevidamente o espaço aéreo do solo, o que reduz a taxa de difusão de oxigênio do solo afetando as funções fisiológicas da planta. Essa situação foi confirmada por Figueiredo et al. (2005), em que níveis de irrigação iguais ou superiores a 150% da ETo influenciaram negativamente a produtividade da bananeira.

Nos Tabuleiros Costeiros do Recôncavo Baiano, para o primeiro ciclo de produção da bananeira 'Prata-Anã', plantada em dezembro, com evaporação total anual do tanque classe A de 1.787 mm e precipitação total anual de 1.362 mm, obteve-se produtividade de até 27,8 t ha⁻¹, no primeiro ciclo, para a aplicação de 267 mm de irrigação nos períodos de déficit hídrico do solo. No terceiro ciclo, para uma precipitação de 1.262 mm, a produtividade variou de 28 a 32 t ha⁻¹ para aplicação de 432 a 721 mm. A cultivar Grande Naine, nas mesmas condições e para a mesma lâmina d'água aplicada na cultivar anterior, atingiu produtividade de 45 t ha⁻¹ no primeiro ciclo. No terceiro ciclo, a produtividade foi de 46,5 t ha⁻¹ com aplicação de 487 mm de irrigação (COELHO; BORGES, 2002).

Nas condições do Norte de Minas Gerais, as produtividades da 'Prata-Anã,' no terceiro ciclo, variaram de 31 a 34 t ha⁻¹ para aplicação de 650 a 986 mm ano⁻¹ de irrigação, respectivamente. Neste caso, foi também ajustada uma função polinomial do segundo grau para a produtividade em função das lâminas de água aplicadas do tipo $y = -7.10^{-6}x^2 + 0,0147x + 24,291$ (Figura 3). A resposta em produtividade da 'Grande Naine', nas mesmas condições variou de 57 a 62 t ha⁻¹ e foi ajustada uma função de produção do tipo $y = -3.10^{-5}x^2 + 0,066x + 27,612$ (Figura 4).

Nas condições dos Tabuleiros Costeiros do Recôncavo da Bahia, as produtividades da bananeira 'Terra' variaram de 47,63 a 58,07 t ha⁻¹ para lâminas de irrigação iguais ou superiores

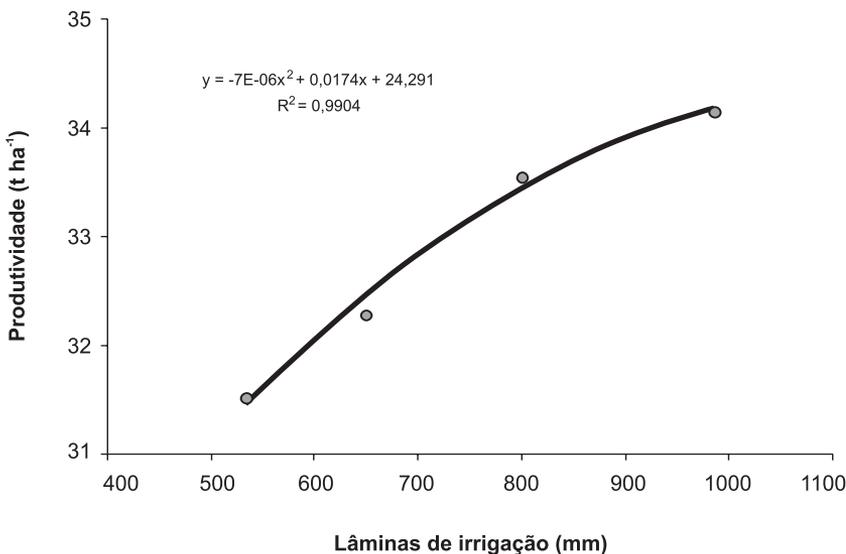


Figura 3. Curva de resposta da cv. Prata-Anã no terceiro ciclo de produção a diferentes níveis de irrigação, Nova Porteirinha, 2002.

a 661 mm, em resposta a níveis de água com as lâminas de irrigação variando de 0,08 da ETC (48 mm) a 1,52 da ETC (912 mm) e doses de nitrogênio iguais ou superiores a 262 kg ha⁻¹ (Figura 5). A função de produção que melhor ajustou-se aos dados foi $y = -4,1386692 - 0,00050645035W + 2,6970264 \cdot 10^{-5} W^2 + 0,23363033N - 0,00027858921 N^2$. Goenaga & Irizarry (2000) avaliaram a resposta da bananeira 'Terra' a níveis de água, com uso do tanque classe A e obtiveram produtividades como função linear dos níveis de irrigação, em que a produtividade máxima foi de 70,7 t ha⁻¹ para uma aplicação mensal de água igual ou superior a 202 mm mês⁻¹, sendo que níveis iguais ou superiores a 151 mm mês⁻¹ resultaram em produtividades de 63 t ha⁻¹.

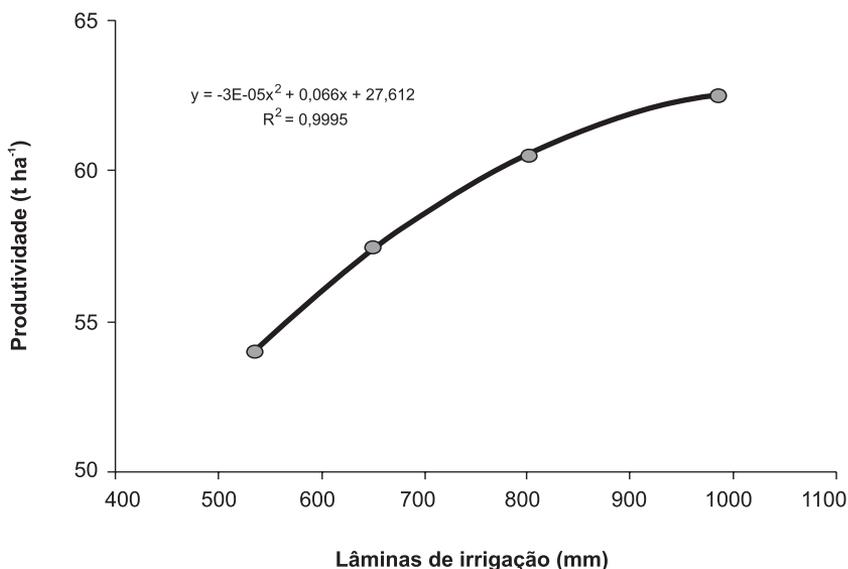


Figura 4. Curva de resposta da cv. Grande Naine no terceiro ciclo a diferentes níveis de irrigação, Nova Porteirinha, 2002.

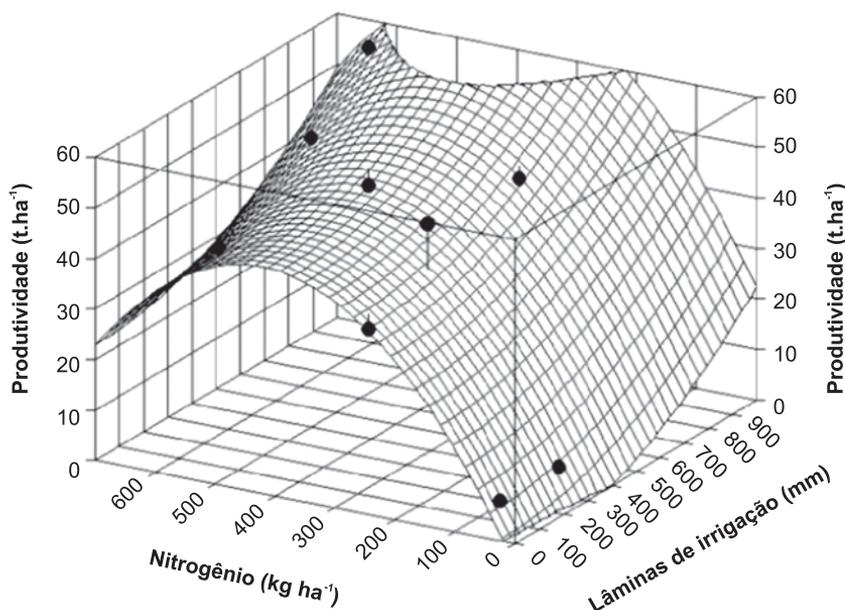


Figura 5. Superfície de resposta para a produtividade da bananeira 'BRS Tropical' em função de doses de nitrogênio e lâminas de irrigação.

Coelho et al. (2009), a partir de estudos da resposta de produção a diferentes níveis de irrigação (12% a 100% da ETc), observaram que uma lâmina líquida ou efetiva de pelo menos 871 mm nas condições edafoclimáticas do Recôncavo da Bahia é suficiente para a bananeira 'BRS Tropical' atingir produtividades consideradas adequadas para essa cultivar no primeiro ciclo (19,5 t ha⁻¹).

Cruz (2012) estudando o primeiro ciclo dos genótipos Prata-Anã, Grande Naine, Princesa, FHIA-18 e BRS Platina em função de diferentes lâminas de irrigação de 289,4 mm (25% da ETo), 578,8 mm (50% da ETo), 868,2 mm (75% da ETo), 1157,6 mm (100% da ETo) e 1447,1 mm (125% da ETo), nas condições do semiárido mineiro, observou comportamento linear da produtividade em relação a lâmina de irrigação (Figura 6).

A função de produção para cada genótipo que melhor se ajustou aos dados foram: 'Grande Naine' ($\hat{y} = 43,594333^{**} + 0,26596^{**}LI$, com $R^2=0,93$); 'FHIA-18' ($\hat{y} = 39,508333^{**} + 0,152467^{**}LI$, com $R^2=0,79$); 'BRS Platina' ($\hat{y} = 25,64^{**} + 0,1292^{**}LI$, com $R^2=0,96$); 'Princesa' ($\hat{y} = 24,981833^{**} + 0,079293^{**}LI$, com $R^2=0,85$); e 'Prata-Anã' ($\hat{y} = 20,563667^{**} + 0,096493^{**}LI$, com $R^2=0,78$). Sendo LI a lâmina de irrigação percentual da evapotranspiração de referência (%ET_o); **Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t e R² o coeficiente de determinação. O genótipo Grande Naine foi o mais produtivo em todas as lâminas estudadas, enquanto 'Prata-Anã' e 'Princesa' estiveram entre os menos produtivos. 'Grande Naine' apresentou maior resposta ao aumento da lâmina de irrigação e o genótipo Princesa foi o menos responsivo. Dentre os genótipos tipo Prata o de maior resposta foi o FHIA-18 e o menos responsivo o 'Prata-Anã' (Figura 6).

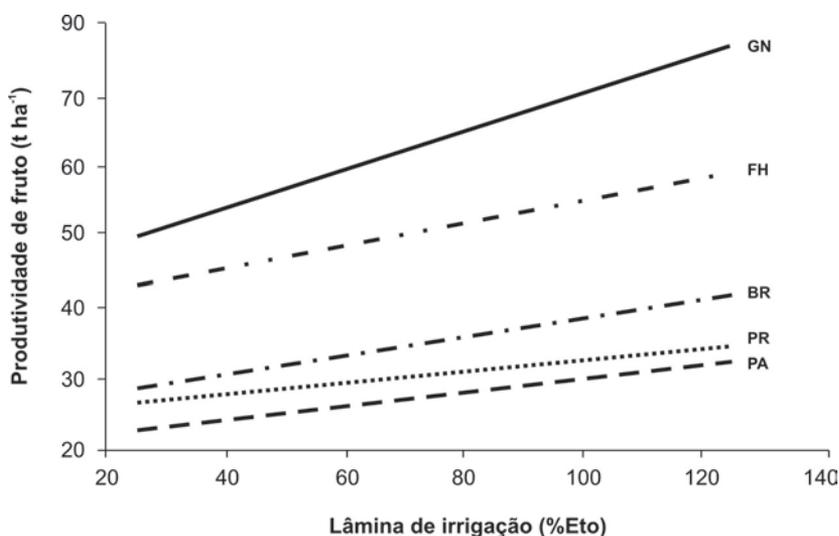


Figura 6. Produtividade de frutos (t ha⁻¹) dos genótipos de bananeira Grande Naine (GN), FHIA-18 (FH), BRS Platina (BR), Princesa (PR) e Prata-Anã (PA) em função da lâmina de irrigação (%ET_o) em Nova Porteirinha, MG, 2011.

5. Referências

- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S. RAES, D. & SMITH. M.1998. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Irrigation Drainage Pap. 56. FAO, Rome.
- BARROSO, A. de A.F., VIANA, T.V. de A., MARINHO A.B., GOMES FILHO R.R., AZEVEDO, B.M. de, COSTA, S.C. Evapotranspiração e Coeficiente de Cultivo para Bananeira CV. "Pacovan Apodi" no Terceiro Ciclo de Produção. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.4, n.1, p.23–30, 2010.
- BASSOI, L.H.; TEIXEIRA, A.H.C.; LIMA, J.M.P.; SILVA, J.A.M.; SILVA, E.E.G.; Ramos, C.M.C.; SEDYAMA, G.C. Guidelines for irrigation scheduling of banana crop in São Francisco Valley, Brazil. II – water consumption, crop coefficient, and physiological behavior. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 3, p. 464 - 467, 2004.
- BHATTACHARYYAA, R.K. & MADHAVA, RAO, V.N. Water requirement, crop coefficient and water-use efficiency of 'Robusta' banana under different soil covers and soil moisture regimes. **Scientia Horticulturae**, v.25, n.3. p.263-269. 1985.
- BRUTSAERT, W. 1982. **Evaporation in the atmosphere. Theory, history, and applications**. D. Reidel, Higham, MT, USA.
- CAYÓN SALINA, D.G. Ecofisiologia y productividad del plátano (Musa AAB Simmonds). In: Reunión Internacional para Coperación en la Investigación de Banano en el Caribe y en América Central, 16., 2004, Oaxaca, México. **Memorias...** San José, Costa Rica: CORBANA, 2004. p.172-183.
- COELHO, E.F.; PAMPONET, A.J.M.; NASCIMENTO JUNIOR, A.L.; COELHO FILHO, M.A.; SANTANA JUNIOR, E.B. Redução da Irrigação e Efeito na Produtividade de Bananeira ARS Tropical nos Tabuleiros Costeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA., 38.,2009, Juazeiro (BA) Petrolina (PE). **Planejamento da Bacia Hidrográfica e o Desenvolvimento da Agricultura**, 2009a.
- COELHO, E.F.; PAMPONET. A.J.; COELHO FILHO, M.A.; SALINAS JUNIOR, A.; VALE SANTANA, J.A. Redução da irrigação e efeitos na produtividade da bananeira BRS tropical em tabuleiros costeiros. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA., 35 2009a. [Anais...]. 1 CD-ROM

COELHO, E.F. ; NASCIMENTO JUNIOR, A.L.; COSTA, S.F. ; CARVALHO, G.C. . Resposta da Bananeira Cultivar Terra a Níveis de Irrigação e doses de Nitrogênio nas Condições dos Tabuleiros Costeiros da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO., 32., 2009, Fortaleza (CE). **O Solo e a Produção de Bioenergia: Perspectivas e Desafios**, 2009b.

COELHO, E.F.; LEDO, C.A.S.; SILVA, S.O. Produtividade da bananeira 'Prata-Anã' e 'Grande Naine' no terceiro ciclo sob irrigação por microaspersão em Tabuleiros Costeiros da Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.28, n.3, p.435-438, 2006.

COELHO, E.F.; SANTOS, M.R. dos ; SANTANA, G.S.; COSTA, E.L. Níveis de nitrogênio, potássio e água para a bananeira cv. Prata-Anã cultivada no Norte de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2006, João Pessoa. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola., 35., João Pessoa. [**Anais...**]. João Pessoa: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2006.

COELHO, E.F, SANTOS, M.R. , SILVA, A.J.P. PINHO, R.E.C., SANTANA, J.A.V. Sistema radicular da bananeira sob diferentes configurações de sistemas irrigação localizada in: xvi Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem., 16., 2006. [**Anais...**], [2006].

COELHO, E. F.; BORGES, A. L. Necessidades hídricas e produtividade da bananeira Prata-Anã e Grande Naine sob irrigação suplementar. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM., 12., 2002, Uberlândia. **A inserção da agricultura irrigada no ciclo hidrológico com: segurança alimentar, revitalização hídrica e sustentabilidade ambiental**, 2002. v. 1.

COELHO, E.F.; D. OR. A parametric model for two-dimensional water uptake by corn roots under drip irrigation. **Soil Science Society of America Journal**,. Madison, v. 60, p.1039-1049.1996

COSTA, E. L.; COELHO, E.F. Necessidade hídrica e produtividade das bananeiras 'Prata-Anã' e 'Grande Naine' sob irrigação nas condições do Norte de Minas. In: XIII CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM., 13., 2003, Juazeiro. O agronegócio da agricultura irrigada com revitalização hídrica. **Anais...**Viçosa: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2003.

COSTA, S.C. Níveis de irrigação e doses de potássio aplicados por gotejamento na cultura da bananeira para a região da Chapada do Apodi-CE. 132 f, 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2009.

CRUZ, A.J de S. **Crescimento e produção de genótipos de bananeira sob diferentes lâminas de irrigação.** Janaúba, UNIMONTES, 82p. Dissertação (Mestrado em produção vegetal no semiárido) – Universidade Estadual de Montes Claros, 2012.

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

FERERES, E. Papel de La fisiologia vegetal em La microirrigación: recomendaciones para El manejo mejorado. In: SEMINARIO LATINOAMERICANO DE MICROIRRIGACIÓN, 4., 1981, Barquisimeto, Venezuela. **Anais....** Barquisimeto: IICA, 1981. p. 1-23.

FIGUEIREDO, F.P., OLIVEIRA, F.G., PEREIRA, M.C.T. Efeito de diferentes lâminas de irrigação na produtividade da bananeira Prata-Anã cultivada no Norte de Minas Gerais. **Revista Ceres**, v.53, n.301, p.429-433. 2005.

GOENAGA, R.; IRIZARRY, H., Irrigated banana yield and quality of banana irrigated with fractions of class a pan evaporation on an oxisol. **Agronomy Journal**, v.92, p.1008–1012. 2000.

GREGORY, P.J. Development and growth of root systems. In: GREGORY, P.J.; LAKE, J.V.; ROSE, D.A. **Root development and function.** New York: Cambridge University Press. 1987. p.146-166.

KELLER, J. **Trickle irrigation.** Section 15-7. National engineering handbook. Glendora, USA: Soil Conservation Service: USDA, 1978. 129p.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkler and trickle irrigation.** New York: VanNostrand Reinhold, 1990. 652 p.

LU, P.; WOO, K.C.; LIU, Z.T. Estimation of whole plant transpiration of bananas using sap flow measurements. **Journal of Experimental Botany**, v.53, n.375, p.1771-1779. 2002.

SANTANA, J.L.; SUAREZ, C.L.; FERRERES, E. Evapotranspiration and crop coefficients in banana In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON IRRIGATION AND HORTICULTURAL CROPS, 1992, Almeria, **Proceedings...**, 1992. p.341-348.

SHONGWE, V.D.; TUMBER, R.; MASARIRAMBI, M.T.; MUTUKUMIRA, A.N. Soil water requirements of tissue-cultured Dwarf Cavendish banana (*Musa* spp. L). **Physics and Chemistry of the Earth**. v.33, p.768–774. 2008.

- SILVA, E.N. da. **Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da bananeira pelo método do balanço hídrico Vale do Curu, Ceará.** 2004. 68 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.
- SILVA, L.B., Nascimento, J.L. do, Naves, R.V., Ferreira P.H. Comportamento vegetativo de cultivares de banana sob diferentes lâminas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.34, p. 93-98, 2004.
- SILVA, A.J.P. DA; COELHO, E.F. Evapotranspiração da bananeira sob dois sistemas de irrigação por microaspersão com base no balanço hídrico do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA., 36., 2007. **Anais...** [2007].
- SOTO BALLESTERO, M. **Bananos; cultivo e comercialización.** 2. ed. San José, Costa Rica: Litografia e Imprensa LIL, 1992. 674p.
- SOTO BALLESTERO, M. **Bananos: técnicas de producción, poscosecha y comercialización.** In: ESCUELA de Agricultura de la Región Tropical Húmeda. Guácimo, Costa Rica, 2008. 1.CD-ROM. EARTH,
- ROBINSON, J.C.; GALÁN SAÚCO, V. **Bananas and plantains.** 2nd ed. Oxford: CAB International, 2010. 311p. (Crop production science in horticulture series, 19).
- ROBINSON, J.C. & ALBERTS, A.J. Growth and yield responses of banana (cultivar 'Williams') to drip irrigation under drought and normal rainfall conditions in the subtropics. **Scientia Horticulturae**, v.30, p.187-202. 1986.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.
- TEIXEIRA, A.H. de C.; BASSOI, L.H.; COSTA, W.P.L. B. da; SILVA, J.A.M. e SILVA. E.E.EG. da. Consumo hídrico da bananeira no Vale do São Francisco estimado pelo método da razão de Bowen. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n.2, p. 45-50, 2002.
- TEIXEIRA, A.H.C. Avaliação dos componentes do balanço de energia durante o primeiro ano de cultura da banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p.28-32, 2001b.
- TURNER, D.W.; FORTESCUE, J.A. The physiology of banana (*Musa spp.*) fruit growth – factors that affect bunch initiation. In: REUNIÓN

DE LA ASOCIACIÓN PARA LA COOPERACIÓN EM INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO INTEGRAL DE LAS MUSÁCEAS (BANANO Y PLÁTANO)., 19., 2010., Medellín, Colômbia. **Memoires - proceedings....** ACORBAT. p. 291-296.

VEGA, R.A.O.; MORALES, A.L.; GELLER, S.P.; MONGE, A.S. **El Cultivo Del Banano**. San José, C.R.: EUNED, 2007. 1. Reimp. de la 1.ed., 2007. 212p.



Irrigação da bananeira

3

Alisson Jadavi Pereira da Silva
Carlos Elízio Cotrim
Eugênio Ferreira Coelho
José Antônio do Vale Santana
Sérgio Luiz Rodrigues Donato

Métodos e sistemas de irrigação

Capítulo 3

Métodos e sistemas de irrigação

Alisson Jadavi Pereira da Silva

Carlos Elízio Cotrim

Eugênio Ferreira Coelho

José Antônio do Vale Santana

Sérgio Luiz Rodrigues Donato

1. Introdução

Entende-se por “método” a maneira de agir, fazer as coisas ou modo de proceder, enquanto que “sistema” pode ser definido como disposição das partes ou dos elementos de um todo, coordenados entre si, e que funcionam como estrutura organizada.

A água pode ser aplicada à bananeira de formas diferentes, ou seja, por métodos de irrigação diferentes. A escolha adequada e criteriosa do método e sistema de irrigação da bananeira é importante para obter sucesso com a cultura. Tal escolha dependerá, dentre outros fatores, das condições locais de cultivo (ex. tipo do solo e relevo), do custo da implantação, manutenção e operação da irrigação, da quantidade e qualidade da água aplicada e da mão de obra disponível. De modo geral, a preferência deve ser dada àqueles métodos que promovam:

distribuição mais uniforme de água no solo e maior eficiência de aplicação e de uso da água (COELHO et al., 2004).

A irrigação da bananeira pode ser realizada mediante a utilização dos métodos de: superfície, aspersão e localizada, dos quais derivam os principais sistemas de irrigação com suas respectivas configurações. Qualquer um desses métodos pode resultar em eficiências de irrigação baixas (menor que 70%) ou elevadas (próximo de 90%), dependendo do sistema de aplicação de água e da realização de um correto manejo da irrigação. A irrigação por superfície, da forma mais tradicional, com sulcos abertos é de baixa eficiência, mas o uso da irrigação por pulso (surge flow) eleva significativamente a eficiência. A aspersão e a irrigação localizada também podem resultar em baixa ou elevada eficiência a depender do tipo, número e disposição dos emissores no campo, além das condições meteorológicas no momento da irrigação.

2. Método da irrigação por superfície

Os métodos de irrigação por superfície, também chamados de irrigação por gravidade, são os mais antigos métodos de irrigação. Apresentam como principal característica a distribuição de água na superfície do solo, utilizando a energia da gravidade. Para isso, a água é conduzida por canais ou tubos até a parte mais alta da área de cultivo e, então, distribuída por escoamento diretamente sobre o solo. É o método de irrigação que demanda maior consumo de água e pode ser o de mais baixa eficiência de irrigação, dependendo da forma como a mesma é aplicada. Apesar deste método já estar estabelecido

para bananeiras em vários perímetros irrigados no Brasil, a sua baixa eficiência não tem permitido o crescimento em área, tendo em vista as incertezas relativas à disponibilidade dos recursos hídricos e a crescente relação demanda/oferta, que tem gerado conflitos já registrados em várias áreas agrícolas do país.

A irrigação por superfície pode ser feita de modo a inundar toda área de cultivo (bacias em nível), aplicando a água por meio de pequenos canais (sulcos de infiltração) ou em faixas de terra (irrigação por faixas de infiltração).

2.1. Bacias em nível

É um método de irrigação apropriado para o cultivo da bananeira, entretanto, exige uma sistematização do terreno. Deve-se evitar a utilização deste método em áreas cujo solo apresenta alto teor de areia grossa, uma vez que a alta taxa de infiltração destes solos pode promover elevadas perdas por percolação. A forma e o tamanho das bacias são determinados principalmente pelo tipo de solo e a vazão disponível, sendo a relação entre estas variáveis apresentada na Tabela 1. Os valores apresentados são baseados na recomendação da FAO, e foram ajustados, em especial para atender às condições de irrigação em pequena escala (FAO, 1988).

Tabela 1. Sugestões de áreas máximas de bacias (m²) para diferentes texturas de solos e vazões disponíveis. Adaptado de FAO (1988).

Vazão (Ls ⁻¹)	Arenoso	Franco-arenoso	Franco-Argiloso	Argiloso
5	35	100	200	350
10	65	200	400	650
15	100	300	600	1000
30	200	600	1200	2000
60	400	1200	2400	4000
90	600	1800	3600	6000

A água é aplicada em uma das extremidades da bacia em nível fluindo em sulcos de base larga que se distribuem por toda a área (Figura 1A). Os sulcos são interligados nas extremidades para melhor distribuição de água (BARRETO et al., 1992).

O tempo de aplicação de água (t_a), na bacia, em horas, pode ser calculado pela eq. 1:

$$t_a = \frac{S_c \cdot LTN}{1000 \cdot Q_d} \quad (1)$$

Em que S_c é a área da cultura (m^2), LTN a lâmina total necessária (mm), e Q_d é a vazão disponível (m^3h^{-1}).

As linhas de plantio nesse sistema de irrigação devem estar preferencialmente sob fileiras duplas, onde os sulcos de base larga devem ter a largura próxima do espaçamento entre fileira simples, ou seja, a água flui entre fileiras simples, deixando seca a superfície do solo entre fileiras duplas para facilidade de manejo da cultura. Os sulcos de base larga devem ter profundidade próxima de 0,50 m. (BARRETO et al., 1992). A distribuição de água para os sulcos é feita por meio de comportas que podem ser do tipo tubular com dissipadores hidráulicos de energia da água (Figura 1B). A irrigação da cultura da bananeira por meio de bacias em nível já foi pesquisada, com excelentes resultados, no perímetro irrigado de São Gonçalo, Souza, na Paraíba, registrando-se rendimento de até 40 t/ha no caso da Pacovan e de até 100 t/ha no da Nanicão (BARRETO et al., 1992).

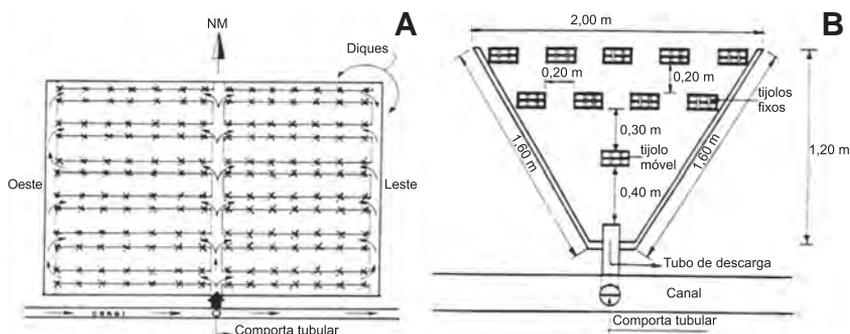


Figura 1. Distribuição de água nos sulcos da bacia em nível (A) e comporta tubular com dissipador hidráulico (B).

Fonte: Barreto et al. (1992)

2.2. Irrigação por sulcos

Os custos de implantação da irrigação por sulcos são geralmente menores que os de qualquer outro método. Sua manutenção e operação, entretanto, exigem bastante mão de obra, o que torna em determinadas situações o método inviável. A utilização deste método na cultura da bananeira pode ser feita com um ou dois sulcos por fileira de plantas, a uma distância de 0,5 m do pseudocaule. O número de sulcos a serem construídos por fileira de plantas vai depender do movimento lateral da água no solo onde a cultura estiver instalada. Para solos argilosos, pode-se utilizar apenas um sulco por fileira de plantas, enquanto que para solos areno-argilosos são recomendados dois sulcos por fileira de plantas (OLIVEIRA, 1986; SOUZA LIMA; MEIRELLES, 1986).

A forma do sulco é influenciada também pelo tipo de solo. Em solos arenosos, a água após infiltrar no solo apresenta um movimento vertical mais rápido que em solos argilosos. Por outro lado, em solos argilosos, existe um maior movimento lateral da água. Desta forma, em solos arenosos recomenda-se a formação de sulcos em “V” profundos e estreitos (Figura 2), enquanto que em solos argilosos recomenda-se a implantação de sulcos largos e rasos (Figura 3).

Nos sulcos excessivamente longos, a água é mal distribuída, há grande perda por percolação no trecho inicial dos sulcos e deficiência de umidade na sua porção final, ocasionando

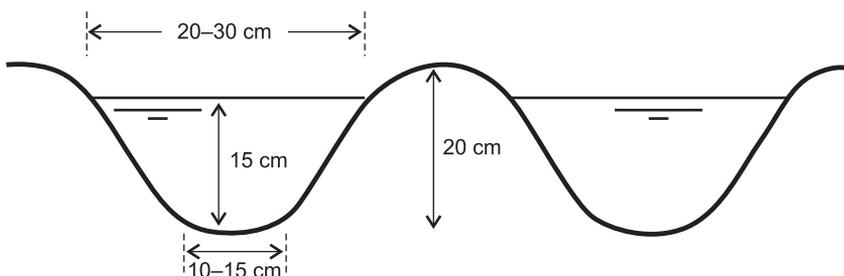


Figura 2. Sulco profundo e estreito em um solo arenoso.

Fonte: Adaptado FAO (1988)

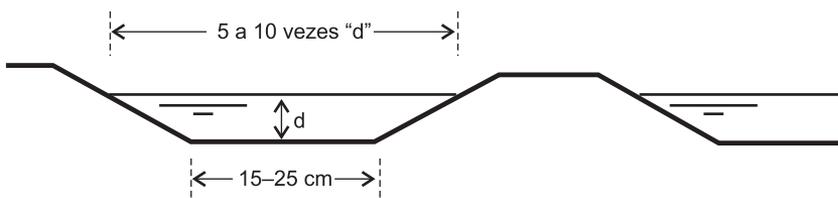


Figura 3. Sulco largo e raso em solo argiloso.

Fonte: Adaptado de FAO (1988).

irregularidade no desenvolvimento das bananeiras ao longo da linha de plantio. Por outro lado, se os sulcos forem muito curtos, haverá mais canais de alimentação, maior exigência de mão de obra, maiores custos e menor área disponível para irrigação. Entretanto, a meta é minimizar o tempo de avanço, de forma que o tempo de oportunidade ao longo do sulco seja o mais uniforme possível. Para isso, a vazão no sulco deve ser de tal maneira que o tempo para a água chegar ao final do sulco deve corresponder a $\frac{1}{4}$ do tempo total de irrigação (BERNARDO et al., 2005). A declividade dos sulcos deve ficar entre 0,1 e 1%, com máximo valor de 2%. A vazão máxima não erosiva ($L s^{-1}$) é igual a $0,6/S$, em que S é a declividade do terreno em percentagem.

2.3. Irrigação por faixas

Neste sistema de irrigação, a água é aplicada ao solo na área compreendida entre duas fileiras de bananeiras. Para evitar encharcamento no colo das plantas, são construídos diques a 0,5 m do pseudocaule. Estas faixas devem ter declividade longitudinal entre 0,15% (solos de textura muito fina) e 4% (solos de textura média), e declividade transversal de zero. A determinação do comprimento adequado das faixas de rega é fundamental para conseguir alta eficiência de irrigação (70% a 80%) e igual produtividade. Dependendo do tipo de solo, da declividade e da vazão a ser aplicada, o comprimento da faixa pode variar de 60 a 300 m, sendo sua largura determinada pelo espaçamento entre as fileiras das plantas (BERNARDO et al., 2005). Sugestões de comprimentos e larguras máximas para faixas em função destas variáveis são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Sugestões de comprimentos e larguras máximas para as faixas. Adaptado de FAO (1988).

Tipo de Solo	Declividade da Faixa (%)	Vazão (l/s)	Largura (m)	Comprimento (m)
Arenoso	0,2-0,4	10-15	12-30	60-90
	0,4-0,6	8-10	9-12	60-90
	0,6-1,0	5-8	6-9	75
Franco	0,2-0,4	5-7	12-30	90-250
	0,4-0,6	4-6	6-12	90-180
	0,6-1,0	2-4	6	90
Argiloso	0,2-0,4	3-4	12-30	180-300
	0,4-0,6	2-3	6-12	90-180
	0,6-1	1-2	6	90

Os restos culturais (pseudocaules e folhas), tão úteis na recuperação e/ou manutenção das características físicas e químicas do solo, tornam-se um dos problemas mais frequentes quando se utiliza o sistema de irrigação por faixas. Por se acharem espalhados entre as fileiras das plantas, os restos culturais impedem o escoamento normal da água de irrigação, provocando encharcamento em alguns pontos e falta de umidade em outros. Para minorar esses efeitos, que afetam negativamente a eficiência do sistema de irrigação, recomenda-se que os restos culturais sejam colocados dentro das fileiras de plantas sobre o dique de separação das faixas irrigadas.

3. Método da aspersão

O método da aspersão pode ser usado para a cultura da bananeira. O uso desse método resulta numa área molhada de 100%, o que beneficia o desenvolvimento do sistema radicular das plantas. É indispensável que a precipitação do aspersor a ser

utilizado seja menor ou igual à velocidade de infiltração básica (VIB) do solo. Com isso, evita-se o escoamento superficial ou o empoçamento, que causam danos à cultura e prejuízos ao produtor. Quanto à topografia, devem ser evitadas as encostas muito íngremes (superiores a 15%), principalmente no caso da aspersão tipo pivô central. Nos plantios em encosta, a linha com aspersores, quando se utiliza o sistema convencional, deve acompanhar a direção da curva de nível.

O vento, a umidade relativa e a temperatura do ar são os principais fatores que afetam a irrigação por aspersão (KELLER; BLIESNER, 1990). Em regiões sujeitas a ventos fortes e constantes, com baixa umidade relativa do ar e altos níveis de temperatura, deve-se evitar a irrigação por aspersão. Como alternativa tem-se o uso da aspersão subcopia, que é feita dentro do dossel, onde a magnitude desses efeitos é minimizada.

A irrigação subcopia deve usar preferencialmente aspersores de ângulo de saída de jato máximo de 7° para evitar molhamento da parte mais elevada do dossel, que corresponde à massa foliar, o que favorece a incidência de Sigatoka. Neste caso, o impacto do jato do aspersor com o pseudocaulo, apesar de não provocar lesões, afeta o coeficiente de uniformidade de distribuição de água e conseqüentemente a eficiência da irrigação.

4. Irrigação localizada

Os sistemas de irrigação localizados caracterizam-se pela aplicação de água em apenas uma fração da área cultivada e pela alta frequência de aplicação. A fração, ou área molhada, consiste no molhamento de um determinado volume de solo

do qual as raízes retiram a água e os nutrientes que necessitam. Sendo assim, a área de solo molhado exposto à atmosfera é inferior à dos outros métodos de irrigação, sendo menor também a perda de água por evaporação direta do solo.

Nos sistemas de irrigação convencionais, tais como gravidade e aspersão, a aplicação diária de água em toda superfície da área de plantio implica em uma necessidade grande de mão de obra. Sendo assim, uma alternativa de diminuição de custo com mão de obra é diminuir o turno de rega, aplicando-se uma lâmina suficiente para suprir a necessidade hídrica da planta no intervalo de tempo. A Figura 4 ilustra a variação da umidade (θ) no solo para sistemas de irrigação convencional e localizado em uma condição de turno de rega de quatro dias para os sistemas convencionais. Verifica-se que a variação de umidade "D" do método convencional atinge limites muito mais inferiores que aqueles atingidos pela variação de umidade "d" do método localizado.

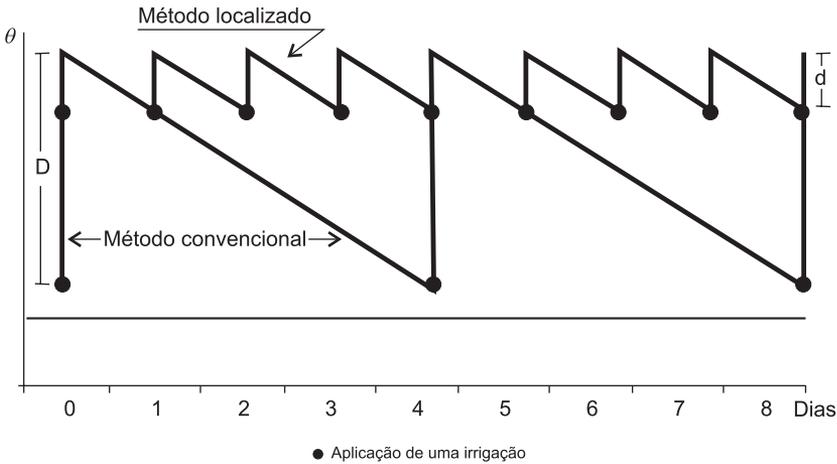


Figura 4. Variação típica de umidade no solo em sistemas de irrigação localizado e convencional.

Os sistemas de irrigação por microaspersão e gotejamento são os mais utilizados no método de irrigação localizada. O sistema de microaspersão gera maior área molhada, permitindo maior desenvolvimento das raízes, aplicando-se bem a solos com maior capacidade de infiltração (arenosos). A irrigação da bananeira por microaspersão pode ser feita utilizando-se microaspersores para duas ou quatro plantas. No uso do gotejamento deve-se atentar para o número e disposição dos gotejadores de forma a se estabelecer uma área molhada propícia ao desenvolvimento das raízes. A variação da posição dos pseudocaulos com as colheitas nos sucessivos ciclos pode dificultar o uso do gotejamento, principalmente em solos de textura média a arenosa. Dessa forma, para uso de irrigação localizada é necessário manter o alinhamento de todas as fileiras do bananal, sendo que a escolha da planta do ciclo subsequente deve ser baseada no alinhamento das fileiras.

No que diz respeito ao efeito destes sistemas na produtividade da bananeira, Silva (2009) realizou uma análise conjunta de dez sistemas de irrigação localizada, sendo cinco diferentes configurações por gotejamento e cinco diferentes configurações por microaspersão. Este autor verificou que há diferença significativa entre as médias das variáveis dependentes relativas à produção para os dois sistemas de irrigação (Tabela 3). No experimento conduzido em Cruz das Almas-BA, a bananeira cultivar BRS Tropical respondeu melhor à microaspersão que ao gotejamento, o que pode ser explicado pela maior área molhada dos sistemas com microaspersão. O crescimento da

bananeira é favorecido nos primeiros cinco meses pelo gotejamento que promove elevação da umidade junto ao sistema radicular da cultura ainda pouco desenvolvido. Com o crescimento do sistema radicular, o volume molhado resultante do gotejamento torna-se inferior ao volume de solo no qual as raízes se proliferam. A microaspersão, com maior área molhada, possui a distribuição espacial da umidade com valores inferiores aos da umidade do volume molhado resultante do gotejador, sendo desvantajosa para a bananeira nos primeiros cinco meses do plantio (COELHO FILHO et al., 2005).

Tabela 3. Comparação de médias pelo teste t para as variáveis de produção nos dois sistemas de irrigação (gotejamento e microaspersão) em condições subúmidas.

Sistema de irrigação	Produtividade de pencas (Mg ha ⁻¹)	Nº de frutos por cacho	Peso médio de frutos (g . fruto ⁻¹)
Microaspersão	23,16 a	107 a	161,18 a
Gotejamento	18,07 b	102 b	132,14 b

Fonte: Silva (2009)

4.1. Configurações dos sistemas de irrigação localizada

Uma vez escolhido o método de irrigação, o passo seguinte é configurar o sistema de irrigação, escolhendo adequadamente o número de emissores a serem utilizados, a vazão e a disposição dos mesmos em relação à planta.

Nos sistemas de irrigação localizados, a água aplicada distribui-se no solo de forma multidimensional e desuniforme em parte da área de cultivo, diferindo do que ocorre nos sistemas de aspersão, cuja água é aplicada em toda área de

cultivo, distribuindo-se de forma unidimensional no solo. Esta particularidade dos sistemas de irrigação localizada faz com que algumas variáveis de produção, manejo da irrigação e eficiência de aplicação sejam modificadas em função do número de emissores a serem utilizados por planta, sua vazão e disposição em relação à bananeira (SILVA, 2009).

Existem diversas formas de configurar um sistema de irrigação localizada para o cultivo da bananeira. O efeito dessas configurações poderá variar em decorrência das condições de solo e de clima locais. Estudos sobre efeito de diferentes configurações de sistemas de irrigação localizada foram realizados em solos de textura média a argilosa em condições subúmidas da região do Recôncavo da Bahia e no semiárido (SILVA, 2009; SANTANA JUNIOR et al. 2010). Esses estudos envolveram as configurações mais comuns para a microaspersão e gotejamento, conforme apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Quadro 1. Diferentes tipos de configurações de sistemas de irrigação por microaspersão.

Sistema (nº)	Configuração
1	Microaspersores de 32 L h ⁻¹ , sendo um emissor por quatro plantas com uma lateral entre duas fileiras de plantas.
2	Microaspersores de 43 L h ⁻¹ , sendo um emissor por quatro plantas com uma lateral entre duas fileiras de plantas.
3	Microaspersores de 60 L h ⁻¹ , sendo um emissor por quatro plantas com uma lateral entre duas fileiras de plantas.
4	Microaspersores de 60 L h ⁻¹ , sendo um emissor por duas plantas com uma lateral próximo e ao longo de uma fileiras de plantas.
5	Microaspersores de 60 L h ⁻¹ , sendo um emissor por duas plantas com uma lateral entre duas fileiras de plantas

Quadro 2. Diferentes tipos de configurações de sistemas de irrigação por gotejamento.

Sistema (nº)	Configuração
1	Gotejamento com dois emissores de 4 L h ⁻¹ por planta com uma lateral por fileira de plantas
2	Gotejamento com quatro emissores de 4 L h ⁻¹ por planta com uma lateral por fileira de plantas
3	Gotejamento com quatro emissores de 4 L h ⁻¹ por planta com duas laterais por fileira de plantas
4	Gotejamento com emissores de 4 L h ⁻¹ em faixa contínua com uma lateral por fileira de plantas
5	Gotejamento com emissores de 4 L h ⁻¹ em faixa contínua com duas laterais por fileira de plantas

4.1.1. Produtividade da bananeira irrigada por diferentes configurações de sistemas de irrigação localizada em condições subúmidas

Em estudo realizado na EMBRAPA Mandioca e Fruticultura Tropical, em Cruz das Almas-BA, Silva (2009) avaliou o efeito de diferentes configurações de sistemas de irrigação por gotejamento e microaspersão na produtividade da bananeira cv. BRS Tropical. Na Tabela 4, encontram-se as médias dos parâmetros de produção da bananeira obtida no experimento com os sistemas de irrigação por microaspersão. Verifica-se que a análise de variância não foi significativa quanto ao efeito desses sistemas, ao nível de 5% de probabilidade, para quaisquer variáveis analisadas (altura de plantas, diâmetro de caule, número de frutos por cacho, peso médio de frutos e produtividade de pencas), quer seja de produção.

Tabela 4. Médias dos parâmetros de produção da bananeira Maçã-Tropical sob cinco configurações de sistemas de irrigação por microaspersão.

Sistema*	Altura de plantas (m)	Diâmetro do caule (m)	Produtividade de pencas (Mg ha ⁻¹)	Número de Frutos/cacho	Peso médio de frutos (g)
1	2,21	0,27	23,46	105	172,65
2	1,99	0,28	25,16	109	171,63
3	2,22	0,27	21,88	105	160,16
4	2,06	0,27	23,18	108	160,47
5	2,29	0,28	21,40	111	140,90

*Sistemas descritos no Quadro 1.
Fonte: Silva (2009).

Quanto à irrigação da bananeira pelas diferentes configurações de sistemas por gotejamento dispostos no Quadro 2, a análise de variância foi significativa ao nível de 5% de probabilidade somente para a variável número de frutos por cacho (Tabela 5).

Tabela 5. Comparação de médias dos parâmetros de produção da bananeira Maçã Tropical sob cinco configurações de sistemas de irrigação por gotejamento.

Sistema*	Altura de plantas (m)	Diâmetro do caule (m)	Produtividade de pencas (t/ha)	Número de Frutos/cacho	Peso médio de frutos (g)
1	3,24	0,2828	17,36	103,64 ab	129,04
2	3,17	0,2789	17,94	98,81 ab	135,12
3	3,20	0,2739	16,74	97,63 ab	129,15
4	3,22	0,2743	17,68	95,91 a	137,56
5	3,25	0,2867	20,66	115,27 b	129,84

*Sistemas descritos no Quadro 2.
Fonte: Silva (2009). Médias seguidas de mesmas letras não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Utilizando-se dois ou quatro emissores de 4 L h⁻¹ por planta (sistemas 1 e 2, Quadro 1), obteve-se produtividades próximas à média máxima, com uma relevante diferença em termos de custo. No sistema de gotejamento, correspondente ao sistema 5, gasta-se o dobro do comprimento de linhas laterais, cinco vezes o número de gotejadores em relação ao sistema 1 e 2,5 vezes o número de gotejadores em relação ao sistema 2. Dessa forma, as configurações dos sistemas de irrigação 1 e 2, com uma linha lateral por fileira de plantas com dois e quatro gotejadores, respectivamente, podem ser usados nas condições dos Tabuleiros Costeiros similares às do Recôncavo da Bahia para a cultura da bananeira.

4.1.2. Distribuição das raízes da bananeira irrigada por diferentes configurações de sistemas de irrigação em condições subúmidas

O conhecimento da distribuição do sistema radicular da bananeira é de fundamental importância, principalmente no que diz respeito ao uso racional da água e fertilizantes, uma vez que este se constitui não só como meio de fixação da planta no solo, mas como a principal via de absorção de água e nutrientes. Diferentes formas de aplicação de água tendem a promover diferentes distribuições das raízes da bananeira no solo, contribuindo dessa forma para diferentes padrões de distribuições de raízes, sendo que tais padrões variam ainda conforme a fase fenológica da cultura.

A profundidade e distância efetivas do sistema radicular da bananeira representam a camada desde a superfície do solo e do pseudocaule da planta até a profundidade e distância radial da planta, onde se concentra 80% do total das raízes (KLAR, 1991; VIEIRA et. al., 1996). Garcia (2000), estudando o sistema radicular da bananeira irrigada por aspersão e microaspersão no Projeto Jaíba-MG, verificou que 98% da massa seca de raízes em áreas sob aspersão concentraram-se até a profundidade de 0,40 m. Já em irrigação por microaspersão, 93% da massa seca total das raízes concentram-se até 0,60 m de profundidade. Ramos (2001) avaliou a distribuição do sistema radicular da bananeira irrigada por microaspersão, em Petrolina-PE, e verificou que 88% das raízes da bananeira irrigada por microaspersão se concentraram até a profundidade de 0,60 m.

Na irrigação por microaspersão, as raízes da bananeira concentram-se em sua maior parte próxima à superfície do solo, com a densidade de comprimento de raízes decrescendo ao longo do perfil com a profundidade. Para diferentes configurações, as maiores percentagens de comprimento de raízes são encontradas na camada 0-0,2 m de profundidade. Nos sistemas 4 e 5 (Quadro 1), com um emissor para duas plantas, a concentração de raízes na camada 0-0,2 m é na ordem de 65,54 e 61,22%, respectivamente. A maior concentração de raízes próxima à superfície do solo nos sistemas que utilizam um emissor para duas plantas, comparado aos sistemas que utilizam um emissor para quatro plantas, está associada à disponibilidade de água. Na microaspersão, a água é

infiltrada em sua maior parte próximo do emissor, isto induz um crescimento das raízes para zonas mais profundas onde a água é mais facilmente disponível, já que nem toda zona radicular é umedecida. Silva (2009) determinou a distância e profundidade efetiva de raízes da bananeira irrigada pelos sistemas de microaspersão dispostos no Quadro 1, sendo que os valores encontrados neste estudo encontram-se dispostos na Tabela 6. A distribuição do sistema radicular da bananeira no perfil do solo para os diferentes sistemas de microaspersão está representada na Figura 5, a qual apresenta as isolinhas de densidade de comprimento de raízes para a bananeira irrigada pelos sistemas em questão.

Tabela 6. Distância e profundidade efetiva de raízes da bananeira irrigada por diferentes sistemas de microaspersão.

Configuração Microaspersão (Quadro 1)	Distância Efetiva (m)	Profundidade Efetiva (m)
1	0,5	0,4
2	0,6	0,3
3	0,7	0,35
4	0,5	0,3
5	0,6	0,35

Fonte: Silva (2009)

Dos sistemas de gotejamento expostos no Quadro 2, as bananeiras irrigadas pelos sistemas 2 e 4 apresentam profundidade efetiva do sistema radicular de 0,60 m e 0,25 m, respectivamente. Nos demais sistemas, a profundidade efetiva de comprimento de raízes vai até 0,30 m (Tabela 7).

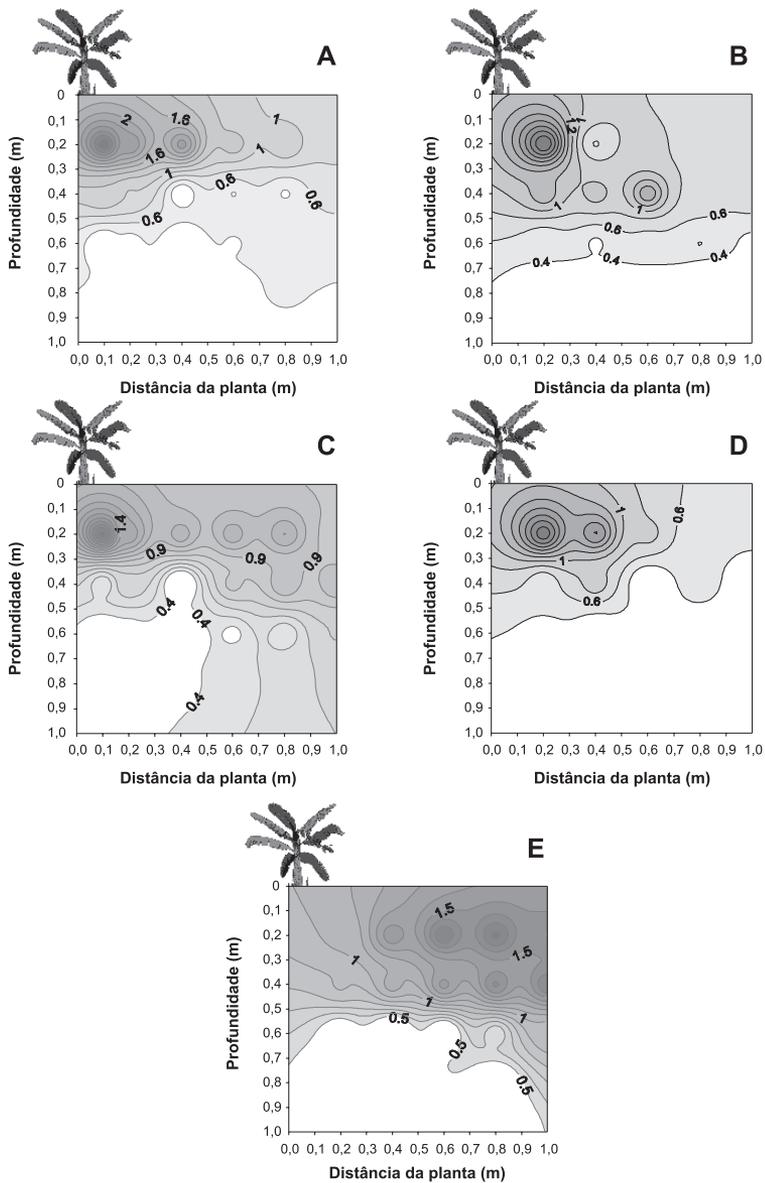


Figura 5. Isolinhas de densidade de comprimento de raízes (cm.cm⁻³) no perfil do solo para os sistemas de microaspersão do Quadro 1. Sistema nº 1 (A), Sistema nº 2 (B), Sistema nº 3 (C), Sistema nº 4 (D) e Sistema nº 5 (E). Tem-se nas áreas mais escuras do gráfico as maiores densidades de raízes.

Fonte: SILVA (2009).

As maiores percentagens de comprimento de raízes encontraram-se próximo aos gotejadores. No sistema 1, a distância efetiva de raízes foi de 0,35m, sendo que nos 0,3 m já se verifica 74,22% do comprimento total de raízes (Figura 6). Neste sistema, para bananeira plantada no espaçamento de 3 m x 2,5 m, o gotejador localiza-se a 0,2 m do pseudocaule da planta. No sistema com quatro emissores por planta (sistema 2), os gotejadores localizam-se a 0,2 e 0,6 m da planta. As raízes prolongam-se mais no perfil do solo em comparação ao sistema 1, e se distribuem em quantidades mais uniformes nas camadas, onde observa-se nas distâncias horizontais da planta de 0,1, 0,3, 0,5 e 0,7 m o percentual de 18,79, 29,80, 22,80 e 22,42% do comprimento total de raízes, respectivamente. A distância efetiva de comprimento de raízes neste sistema é de 0,6 m.

Tabela 7. Distância e profundidade efetiva de raízes da bananeira irrigada por diferentes sistemas de gotejamento.

Configuração Gotejamento (Quadro 2)	Distância Efetiva (m)	Profundidade Efetiva (m)
1	0,35	0,30
2	0,60	0,60
3	0,50	0,30
4	0,75	0,25
5	0,70	0,30

Fonte: Silva (2009)

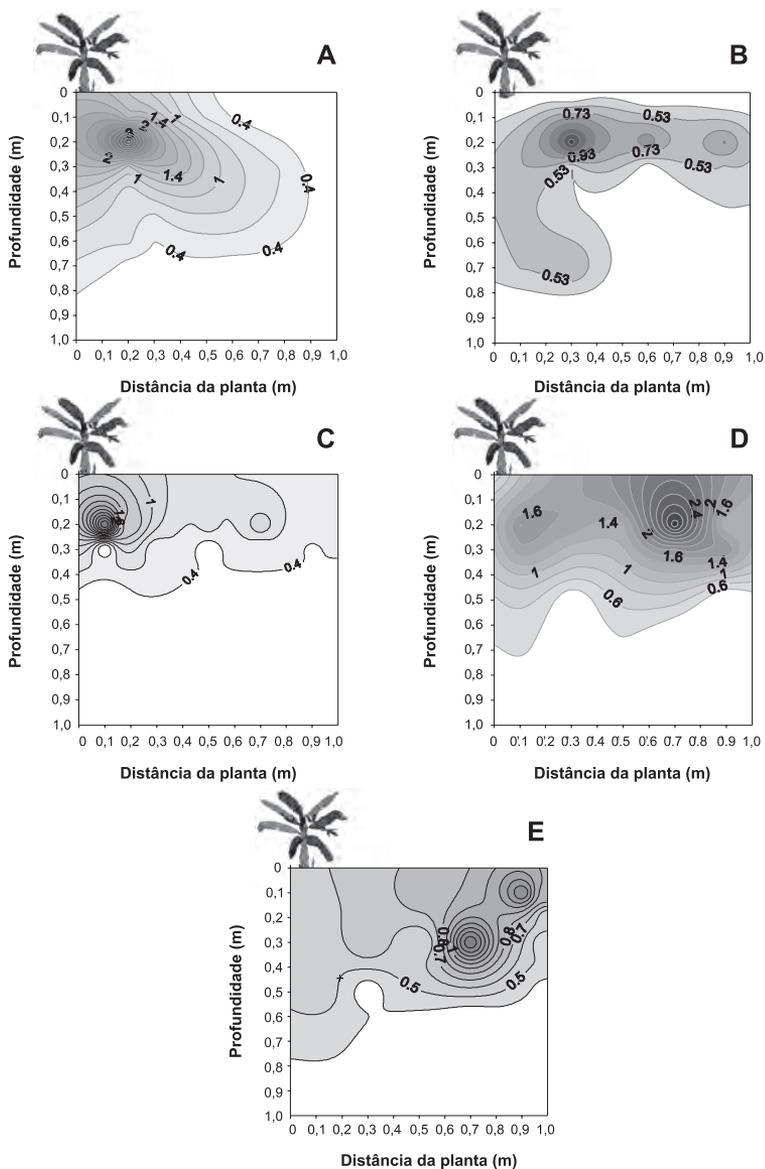


Figura 6. Isolinhas de densidade de comprimento de raízes no perfil do solo para os sistemas de gotejamento do Quadro 2. Sistema nº 1 (A), Sistema nº 2 (B), Sistema nº 3 (C), Sistema nº 4 (D) e Sistema nº 5 (E). Tem-se nas áreas mais escuras do gráfico as maiores densidades de raízes.

Fonte: Silva (2009)

No sistema com quatro gotejadores em duas laterais por fileira de planta (sistema 3, Quadro 2), as raízes desenvolvem-se mais na horizontal que o sistema 1, porém menos que no sistema 2, estando a maior parte das raízes concentrada nas distâncias horizontais de 0,1 e 0,3 m, na ordem de 38,54 e 30,14%, respectivamente. Este sistema é composto por dois gotejadores localizados a 0,2 m do pseudocaule da planta, um em cada linha lateral. A distância efetiva registrada neste sistema é 0,5 m.

As raízes das plantas irrigadas pelo sistema com gotejadores distribuídos continuamente em uma linha lateral de irrigação (sistema 4, Quadro 2), apresentam maior desenvolvimento lateral, sendo a distância efetiva de 0,75 m. As raízes deste sistema desenvolvem-se menos em profundidade quando comparado aos demais sistemas, sendo que, a 0,2 m de profundidade encontra-se 55,28% do comprimento total de raízes. A extensão das raízes deste sistema na lateral do perfil evidencia a influência da distribuição de água no solo no desenvolvimento das raízes, pois como neste sistema a água é distribuída em toda lateral, as raízes não ficam restritas a uma pequena porção de solo. No sistema composto por duas linhas laterais com gotejadores distribuídos continuamente (sistema 5, Quadro 2), as raízes também apresentam um bom desenvolvimento lateral, porém menos que o sistema 4. A distância efetiva de comprimento de raízes deste sistema é 0,7 m.

A distribuição do sistema radicular da bananeira no perfil do solo para os diferentes sistemas de gotejamento está representada na Figura 6, a qual apresenta as isolinhas de densidade de comprimento de raízes para a bananeira irrigada pelos sistemas em questão.

4.1.3. Produtividade da bananeira irrigada por diferentes configurações de sistemas de irrigação localizada em condições semiáridas

A produção comercial de banana em regiões com baixas precipitações anuais só é possível quando se faz o uso da irrigação. Segundo Coelho et al. (2010), a eficiência do uso da água em irrigação está diretamente relacionada ao seu manejo aplicado à cultura e que, por sua vez, depende de variáveis do sistema de irrigação e do sistema solo-água-plantas. O semiárido brasileiro, apesar da escassez de chuva, apresenta em quase sua totalidade áreas propícias para o desenvolvimento e produção da cultura da bananeira.

Na região semiárida brasileira destacam-se os seguintes polos de produção de banana: Minas Gerais (Janaúba e Jaíba); Bahia (Juazeiro, Bom Jesus da Lapa, Barreiras, Livramento de Nossa Senhora, Caraíbas, Guanambi, Urandi e Sebastião Laranjeiras); Pernambuco (Petrolina e Santa Maria da Boa Vista); Rio Grande do Norte (Vale do Açu); Sergipe (Platô de Neópolis); e Ceará (Chapada do Apodi e Baixo Acaraú). Aproximadamente 95% dessa área está cultivada com banana 'Prata', especificamente 'Prata-Anã', cultivar predominante no sudoeste da Bahia e no norte de Minas Gerais (DONATO, 2009).

No sudoeste da Bahia, Donato et al. (2010) estudaram o estado nutricional de dois genótipos bananeiras (Prata-Anã e o híbrido PA42-44) sob três sistemas de irrigação (aspersão convencional, microaspersão e gotejamento), utilizando espaçamento de 3,0 m x 2,5 m. Verificou-se que para a produtividade não houve interação significativa entre os genótipos e os sistemas de irrigação, e nem efeitos significativos isolados de sistemas de irrigação e de genótipos.

Para as condições edafoclimáticas de Janaúba-MG, em um bananal com espaçamento de 2,0 m x 2,5 m e diferentes configurações para o sistema de microaspersão e gotejamento (Quadro 3), Santana Junior et al. (2010) observaram que houve efeito significativo ($p < 0,05$) do sistema de irrigação sobre a produtividade da bananeira cultivar 'Prata Gorutuba'. As produtividades da bananeira variaram de 27 a 32,77 t ha⁻¹ (Tabela 8). Esses valores estão coerentes com os limites estabelecidos por Silva (2007) segundo o qual, para a bananeira 'Prata-Anã' cultivada no Norte de Minas Gerais ser rentável, é necessário que sua produtividade média esteja próxima de 28 t ha⁻¹ ano⁻¹.

A maior produtividade foi verificada no sistema de microaspersão com um emissor de vazão de 60 L h⁻¹ para quatro plantas (Tabela 8). Esse sistema não diferiu significativamente do sistema de microaspersão com um emissor de vazão de 53 L h⁻¹ para quatro plantas, no entanto, diferiram dos demais sistemas.

Quadro 3. Diferentes tipos de configurações para os sistemas de irrigação por microaspersão e gotejamento (Santana Junior et al., 2010).

Sistema (nº)	Configuração
1	Microaspersores de 42 L h ⁻¹ , sendo um emissor por quatro plantas com uma lateral entre duas fileiras de plantas
2	Microaspersores de 53 L h ⁻¹ , sendo um emissor por quatro plantas com uma lateral entre duas fileiras de plantas
3	Microaspersores de 60 L h ⁻¹ , sendo um emissor por quatro plantas com uma lateral entre duas fileiras de plantas
4	Gotejamento com emissores de 4 L h ⁻¹ em faixa contínua com uma lateral por fileira de plantas
5	Gotejamento com emissores de 4 L h ⁻¹ em faixa contínua com duas laterais por fileira de plantas

Tabela 8 . Teste de médias (Tukey) ao nível de 5% de probabilidade para as variáveis: comprimento, diâmetro, peso do fruto mediano da segunda penca e produtividade de pencas. Fonte: Santana Junior et al. (2010).

Sistema*	Comprimento do fruto (m)	Diâmetro do caule (m)	Peso médio de frutos (g)	Produtividade de Penca (Mg ha ⁻¹)
1	0,18a	0,38 a	131,47 a	27,00 a
2	0,19 a	0,46 a	145, 86 a	31,84 b
3	0,19 a	0,35 a	148,74 a	32,77 b
4	0,17 a	0,34 a	135,25 a	27,11 a
5	0,19 a	0,39 a	151,94 a	30,70 b

*Sistemas descritos no Quadro 3.

O uso de gotejadores com vazão de 4 L h⁻¹ em faixa contínua com duas linhas laterais por fileira de plantas apresentou incremento na produtividade de aproximadamente 13%, quando comparada com a do sistema que utilizou o mesmo tipo de emissores em faixa contínua com uma lateral por fileira de plantas. Entretanto, este sistema apresenta um custo adicional de 100% para comprimento de linhas laterais.

4.1.4. Distribuição das raízes da bananeira irrigada por diferentes configurações de sistemas de irrigação em condições semiáridas

Na irrigação por gotejamento em áreas áridas e semiáridas ocorrem significativas concentrações de raízes na zona molhada (RUIZ-SANCHEZ et al. 2005). Sant'Ana et al. (2010a), ao estudar a distribuição radicular da cultivar Prata-Anã na fase de floração para as condições da região sudoeste da Bahia (Guanambi), com espaçamento de 3,0 m x 2,5 m, observou que as raízes de bananeira irrigada sob aspersão convencional apresentaram maiores percentagens do comprimento total próximo à superfície do solo.

Cerca de 80% do comprimento total das raízes foi detectado a 0,30 m, enquanto que os sistemas de microaspersão e gotejamento tiveram 80% do comprimento total das raízes detectado a 0,50 m da superfície do solo perfis. 31,87% a 58,85% do comprimento total nos perfis avaliados se concentrou na camada de 0,10 a 0,30 m, com destaque para o tratamento por aspersão que, diferentemente dos outros sistemas, apresentou acima de 50% do seu sistema radicular nessa faixa de profundidade (Figura 7 e 8).

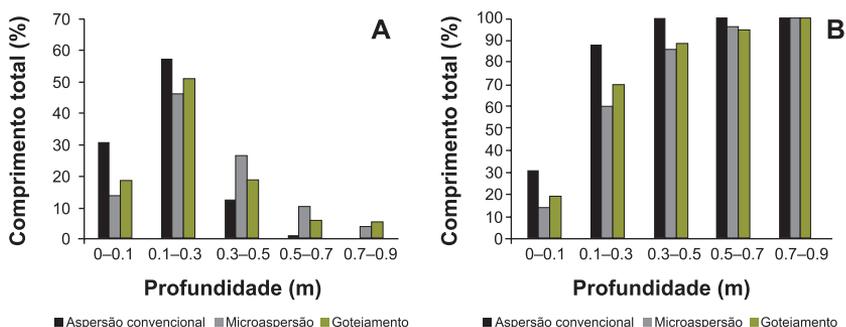


Figura 7. Percentagens do comprimento total de raízes (a) e acumulado das raízes (b) na direção longitudinal à bananeira irrigada por sistemas de irrigação por aspersão, microaspersão e gotejamento.

Fonte: Sant'Ana et al. (2010a).

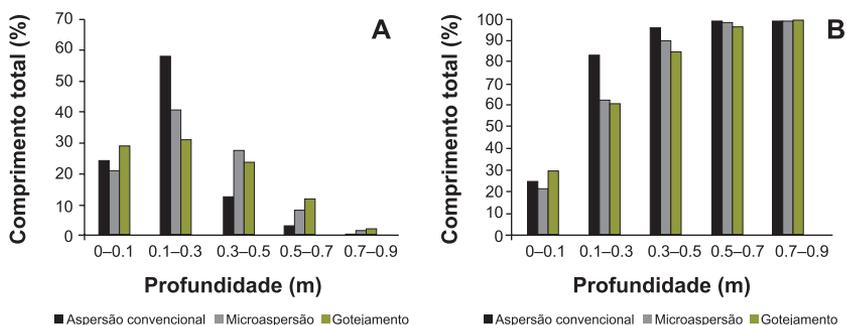


Figura 8. Percentagens do comprimento total de raízes (A) e acumulado das raízes (B) na direção ortogonal à bananeira irrigada por sistemas de irrigação por aspersão, microaspersão e gotejamento.

Fonte: Sant'Ana et al. (2010a).

4.1.4.1. Distribuição das raízes da bananeira sob irrigação localizada

Segundo Sant'Ana et al. (2010b), a distribuição espacial da porcentagem do comprimento total de raízes mostrou maior concentração até 0,40 m de profundidade e nas distâncias de 0,25 m e 0,75 m do pseudocaule para o sistema de gotejamento com uma lateral por fileira de planta, com emissores na linha, com vazão de 2,3 L h⁻¹, sendo espaçados 0,30 m entre si. Na microaspersão, com emissores autocompensantes, de vazão 70 L h⁻¹, espaçados 5 m entre si, e com as linhas laterais espaçadas de 6 m, a região de maior atividade do sistema radicular ocorreu até a profundidade de 0,60 m, apresentando centros de atividade em diferentes distâncias do pseudocaule, nas profundidades de 0,20 e 0,40 m da superfície do solo (Figura 9).

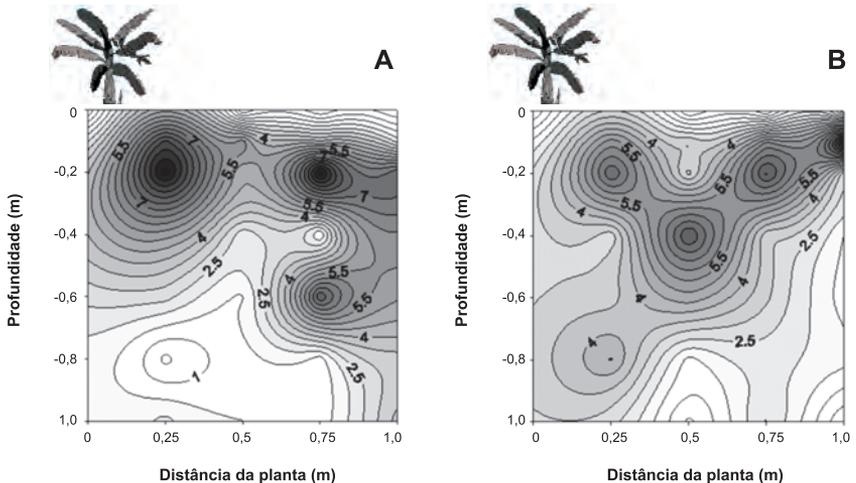


Figura 9. Gráfico de isolinhas do comprimento total de raízes (%) da bananeira (cultivar Prata Anã) irrigada por sistemas de irrigação por gotejamento (A) e microaspersão (B). Dados avaliados na fase final do segundo ciclo da cultura, no Município de Guanambi-BA.

Fonte: Sant'Ana et al. (2010b).

No sistema de gotejamento, 40,85% do comprimento total de raízes pertenceu às classes de diâmetro inferior a 0,5 mm. Na microaspersão, 35,66% do comprimento total de raízes pertenceu à mesma classe. Ambos os sistemas apresentaram acima de 90% do comprimento total de raízes com diâmetro inferior a 2 mm (Figura 10) (SANT'ANA et al. 2010b).

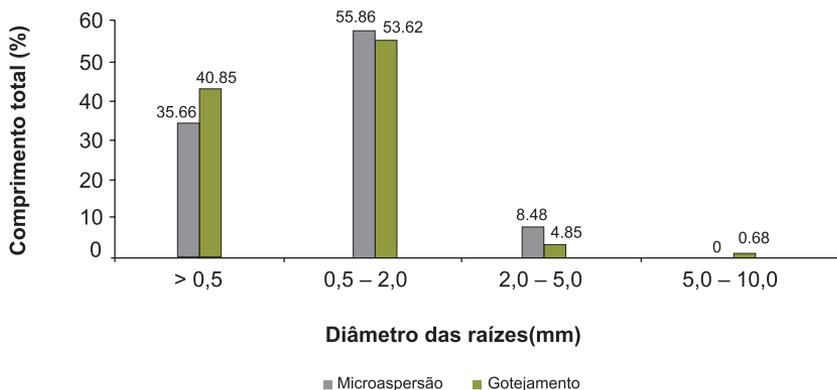


Figura 10. Percentagem de comprimento de raízes em relação ao comprimento total das mesmas em diferentes classes de diâmetro, avaliado na fase final do segundo ciclo da cultura da bananeira (cultivar Prata-Anã), em dois sistemas de irrigação (microaspersão e gotejamento), no Município de Guanambi-BA.

4.1.4.2. Distribuição das raízes da bananeira irrigada por aspersão convencional

Sant'Ana et al. (2010c) estudou a dinâmica do sistema radicular da bananeira irrigada por aspersão convencional, no início da floração e na fase final do preenchimento dos frutos. Observou-se neste estudo que grande parte do sistema radicular encontra-se próximo à superfície do solo, especialmente no início da floração, e que na camada de 0,20 a 0,40 m foi detectado acima de 80% do comprimento total das raízes. No período final do preenchimento dos frutos, a bananeira apresentou maior uniformidade na distribuição

das raízes, deslocando a profundidade efetiva do sistema radicular para a camada de 0,40 a 0,60 m. Não obstante, houve redução da percentagem de comprimento total de raízes com o aumento da profundidade do solo para ambos os períodos fenológicos estudados (Figura 11). A maior parte das raízes da bananeira, aproximadamente 90,4% no início da floração e 87,5% na fase final do preenchimento dos frutos, se concentraram entre 0 a 0,60 m da touceira (Figura 12).

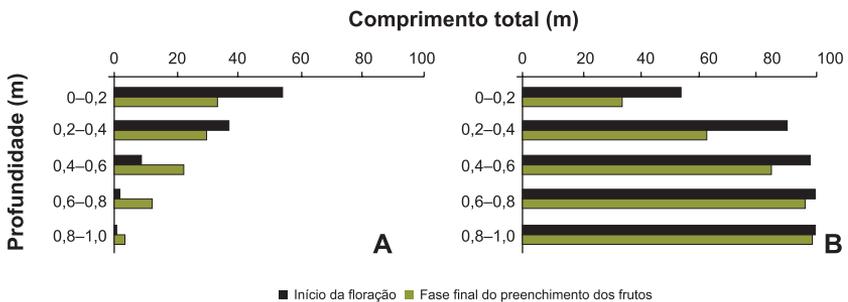


Figura 11. Percentagens do comprimento total (A) e acumulado das raízes (B) de raízes de bananeira cv. Prata-Anã em função da profundidade do solo no início da floração e na fase final de preenchimento dos frutos.

Fonte: Sant'Ana et al. (2010c).

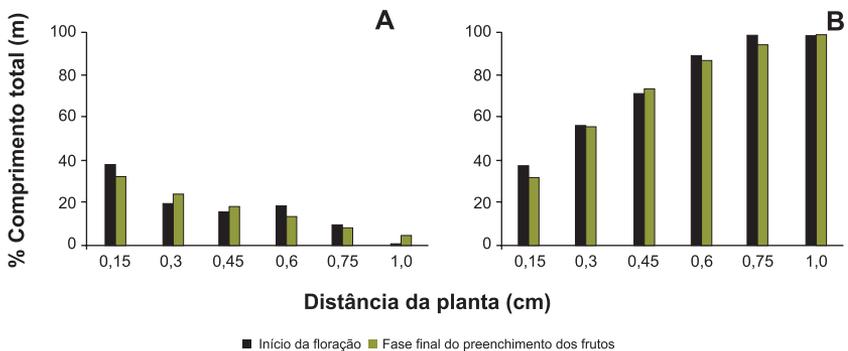


Figura 12. Percentagens do comprimento total (A) e acumulado das raízes (B) de raízes de bananeira cv. Prata-Anã em função da distância da planta no início da floração e na fase final de preenchimento dos frutos.

Fonte: Sant'Ana et al. (2010c).

5. Eficiência de aplicação de água de sistemas de irrigação

A operação de um sistema de irrigação com alta eficiência torna possível o uso racional dos recursos hídricos, além de beneficiar o irrigante por meio da diminuição dos custos com energia e água.

A funcionalidade de um sistema de irrigação de forma eficiente é possível mediante o conhecimento de uma série de etapas isoladas que priorizam a eficiência total do uso da água na agricultura, como a eficiência de condução, de distribuição e de aplicação. Destacam-se nestas etapas, a eficiência de aplicação de água (E_a), que pode ser definida como a razão entre a quantidade de água retida na zona radicular da planta e a quantidade de água aplicada na irrigação (HSIAO et al., 2007).

Na irrigação por superfície, particularmente na irrigação por sulco, o mínimo aceitável da E_a é de 60% (BERNARDO et al., 2005). Entretanto, quando praticado de forma adequada, este método pode alcançar E_a maiores que 80% (HOWELL, 2003).

Na irrigação por aspersão, a perda de água por evaporação e/ou por arrastamento do vento exerce forte influência sob o valor da E_a (PLAYÁN et al. 2005). Nesse sentido, dependendo das condições locais, a E_a pode variar de 70 a 90% (MANTOVANI; RAMOS 1994). Segundo Keller e Bliesner (1990), na maioria das condições, a evaporação e o arrastamento pelo vento são fatores responsáveis por 5 a 10% das perdas observadas nos sistemas de aspersão.

A partir da Figura 13, adaptada de Keller & Bliesner (1990), pode-se estimar a efetiva porção de água aplicada que chega à superfície solo-planta (R_e) em sistemas de irrigação por aspersão. Para utilizar esta metodologia, é necessário conhecer o índice de pulverização do jato do aspersor (CI), calculado por meio da equação 2:

$$CI = 0,032 \frac{P^{1,3}}{B} \quad (2)$$

Em que P é a pressão de operação do aspersor (kPa) e B o diâmetro do bocal do aspersor (mm).

Para valores de $CI \leq 7$, o jato do aspersor é considerado pouco fracionado. Neste caso, utiliza-se a parte inferior da Figura 13. Para valores de $CI \geq 17$, o jato do aspersor é considerado muito fracionado, e a parte superior da Figura 13 será utilizada. Quando $7 < CI < 17$, o valor de R_e pode ser interpolado pela equação 3:

$$R_e = \frac{(CI - 7)}{10} (R_e)_f + \frac{(17 - CI)}{10} (R_e)_c \quad (3)$$

Outra alternativa é utilizar a regressão abaixo:

$$R_e = 0,976 + 0,005 ET - 0,00017 ET^2 + 0,0012WS - CI (0,00043ET + 0,00018WS + 0,000016ET WS)$$

para $7 \leq CI \leq 17$

se $CI < 7$, faz-se $CI = 7$, e se $CI > 17$ faz-se $CI = 17$

Em que:

R_e = Porção efetiva da água emitida pelo aspersor que chega à superfície solo-planta (decimal);

$(R_e)_c$ = valor de R_e obtido na Fig. 6 para aspersores com jato pouco fracionado;

$(R_e)_f$ = valor de R_e para aspersores com jato muito fracionado;

ET = Evapotranspiração da cultura (mm/dia);

WS = Velocidade do Vento (Km/h);

CI = índice de pulverização do jato do aspersor (eq. 2).

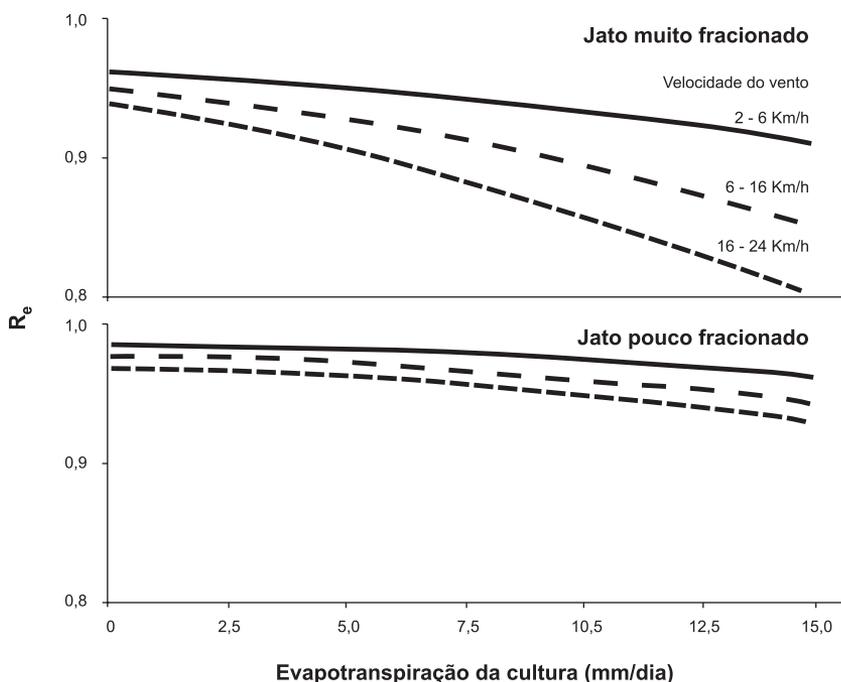


Figura 13. Efetiva porção de água aplicada que chega à superfície solo-planta em função de condições ambientais e da pulverização do jato de água do aspersor.

Fonte: Adaptado de Keller e Bliesner (1990).

O valor de R_e reflete as perdas por evaporação e arrastamento pelo vento ocorrido em um determinado sistema por aspersão.

Para avaliar a E_a nos sistemas por aspersão, deve-se levar em conta não apenas o valor de R_e , mas também a perda por percolação, que pode ser indiretamente conhecida mediante os valores uniformidade de aplicação de água do sistema. Assim, na irrigação da bananeira por aspersão em condições de manejo adequado, quanto maior o coeficiente de uniformidade (UF) do sistema, menores as perdas por percolação.

Para se evitar grandes perdas de água por percolação nos sistemas de aspersão, o déficit de água no solo não deve ser suprido em toda área, o que faz com que parte da área receba uma lâmina maior ou igual à lâmina de irrigação real necessária, sendo esta parte considerada como área do solo adequadamente irrigada (pa). Para a cultura da bananeira, Keller e Bliesner (1990) recomendam uma necessidade de 90% de área adequadamente irrigada, por considerar os aspectos relacionados ao seu alto valor de mercado.

A Figura 14, adaptada de Keller e Bliesner (1990), ilustra a relação entre a pa e a lâmina aplicada com UF de 70 e 86%. A relação entre a lâmina mínima aplicada na pa e a lâmina média total aplicada implica na eficiência de distribuição (ED). Conforme a Figura 14, para um sistema de aspersão com UF de 70%, a ED é de 68%, ou seja, em uma situação onde a necessidade da bananeira é de 1 mm, seria necessário a aplicação de 1,47 mm para suprir esta necessidade, após descontadas as perdas por evaporação e arrastamento pelo vento.

A Tabela 9 apresenta valores de ED em função de pa e UF. Verifica-se que em um sistema cujo UF é 86% e a pa de 80%, a ED será de 85%, ou seja, neste sistema 80% da área irrigada receberá uma lâmina igual ou maior que 85% da lâmina média aplicada.

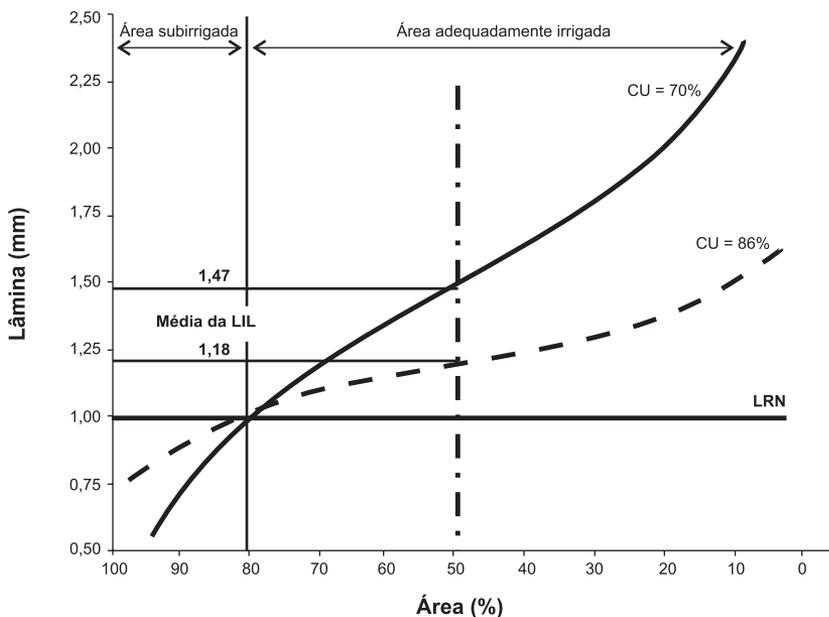


Figura 14. Relação entre a área adequadamente irrigada e a lâmina aplicada com coeficientes de uniformidade (CU) de 70 e 86% quando 20% da área é subirrigada e 80% é adequadamente irrigada.

Fonte: Adaptado de Keller e Bliesner (1990)

Tabela 9. Eficiência de Distribuição (ED) em função do coeficiente de uniformidade (UF) e área adequadamente irrigada (a_p).

Área do solo adequadamente irrigada (a_p) – (%)									
UF (%)	95	90	85	80	75	70	65	60	50
ED (%) - Eficiência de Distribuição de Água									
94	88	90	92	94	95	96	97	98	100
92	83	87	90	92	93	95	96	97	100
90	79	84	87	89	92	93	95	97	100
88	75	81	84	87	90	92	94	96	100

continua...

Tabela 9. Continuação.

Área do solo adequadamente irrigada (ap) – (%)									
UF (%)	95	90	85	80	75	70	65	60	50
ED (%) - Eficiência de Distribuição de Água									
86	71	77	82	85	88	91	93	96	100
84	67	74	79	83	86	89	92	95	100
82	63	71	77	81	85	88	91	94	100
80	59	68	74	79	83	87	90	94	100
78	55	65	71	77	81	86	89	93	100
76	50	61	69	75	80	84	88	92	100
74	46	58	66	73	78	83	87	92	100
72	42	55	64	70	76	82	86	91	100
70	38	52	61	68	75	80	85	90	100
68	34	49	58	66	73	79	85	90	100
66	30	45	56	64	71	78	84	89	100
56	9	29	43	54	63	71	79	86	100

Fonte: Hart e Reynolds (1965) citado por Keller & Bliesner (1990).

Almeida et al. (2003) avaliaram a relação entre o déficit de água no solo a lâmina média de água aplicada e sua distribuição para sistemas de irrigação por microaspersão e aspersão subcopia na cultura da bananeira, região Norte de Minas Gerais. Verificou-se melhor desempenho do sistema de microaspersão, onde ocorreu menor descompasso entre o déficit de água no solo e o perfil de distribuição da lâmina aplicada (Figura 15).

Microaspersão em bananeira

Aspersão subcropa em bananeira

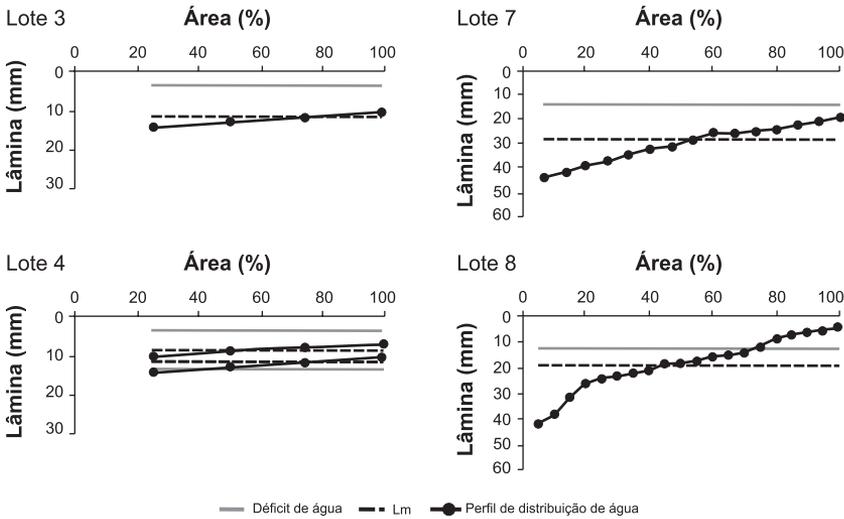


Figura 15. Lâmina média, distribuição na superfície e déficit de água no solo em função da percentagem de área irrigada de sistemas de microaspersão e aspersão subcropa na bananeira.

Fonte: Almeida et al. (2003).

Para avaliar a eficiência de aplicação na irrigação por aspersão da bananeira, deve-se levar em conta as perdas por evaporação e arrastamento do vento refletido pelo valor de R_e e a eficiência de distribuição ED , que, indiretamente, reflete as perdas por percolação. Assim sendo, o valor de E_a para irrigação por aspersão na bananeira pode ser calculado pela equação 4:

$$E_a = R_e \cdot ED \quad (4)$$

Em que:

E_a = Eficiência de aplicação de água baseada em uma área adequadamente irrigada (%)

Re = efetiva porção de água aplicada que chega à superfície solo-planta, decimal (eq.2)

ED = Eficiência de distribuição de água baseada em uma área adequadamente irrigada (%), (Tabela 8).

Os métodos localizados são os que apresentam maior potencial de uso eficiente da água. Entretanto, a E_a pode variar em função de uma variedade de fatores, em particular, da configuração destes sistemas no campo (HOWELL, 2001). A E_a dos métodos e sistemas de irrigação localizados tem sido pouco estudada devido à dificuldade em se determinar alguns parâmetros necessários ao seu estudo, principalmente o fluxo de água abaixo da zona radicular da cultura ou percolação. Esta dificuldade é acentuada pela distribuição multidimensional da umidade no volume molhado em sistemas localizados.

5.1. Eficiência de aplicação de água por sistemas de microaspersão

As perdas de água por percolação em áreas de cultivo de banana utilizando sistemas de irrigação por microaspersão foram determinadas por Silva (2009), em Cruz das Almas-BA. Na Tabela 10 encontram-se os valores médios de lâminas de água percolada abaixo da profundidade efetiva das raízes em diferentes tempos, após o início da irrigação para sistemas com um microaspersor de 32 L h^{-1} para quatro plantas (Sistema 1, Quadro 1), um microaspersor de 60 L h^{-1} para quatro plantas

(Sistema 3, Quadro1) e com um microaspersor de 60 L h⁻¹ para duas plantas (Sistema 5, Quadro 1).

Tabela 10. Valores médios de percolação em diferentes tempos após a irrigação (A.I) em sistemas de irrigação por microaspersão na bananeira em Cruz das Almas-BA (Silva, 2009).

Sistema	Água Percolada (mm)							
	1h	2h	4h	6h	8h	10h	12h	14h
1	0,1878 ab	0,1165 a	0,1147 a	0,1015 a	0,0871 a	0,0344 a	0,0117 a	0,0056 a
3	0,2531 b	0,4960 b	0,2416 b	0,1024 a	0,0752 a	0,0970 a	0,0136 a	0,0009 a
5	0,1097 a	0,4960 a	0,0968 a	0,1156 a	0,0953 a	0,0419 a	0,0253 a	0,0118 a

*Valores seguidos por letras iguais não diferem significativamente pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

No sistema com um microaspersor de 32 L h⁻¹ para quatro plantas, as menores lâminas de água infiltrada ocorreram na região compreendida entre o pseudocaule da planta até a distância horizontal de 0,40 m em direção ao microaspersor. Nesta região, praticamente não se registrou perdas de água por percolação. Já a partir da distância horizontal de 0,80 m, ocorreram perdas consideráveis de água por percolação, chegando a 2,1 mm na distância horizontal de 1m do pseudocaule (Figura 16). Em média, a lâmina de água perdida por percolação neste sistema é de 1,05 mm, e a razão entre a quantidade de água repostada por este sistema e a água retida no sistema radicular da bananeira é de 0,8501, ou seja, uma Ea de 85,01%.

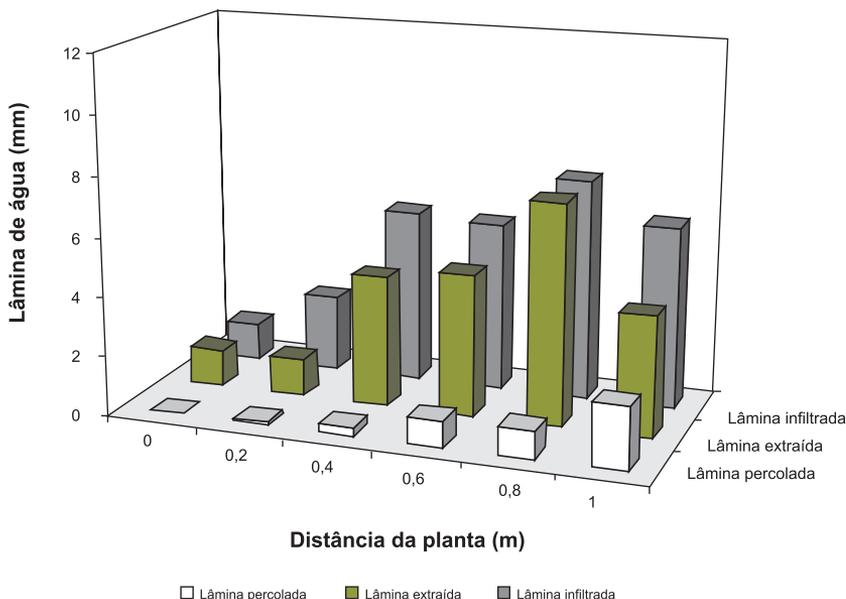


Figura 16. Lâminas de água infiltrada, extraída e percolada na irrigação da bananeira pelo sistema que utiliza um microaspersor de 32 L h^{-1} para quatro plantas.

Fonte: SILVA (2009).

No sistema com um microaspersor de 60 L h^{-1} para quatro plantas (Sistema 3, Quadro 1), observou-se desuniformidade de distribuição de água em relação às diferentes distâncias horizontais da planta em direção ao microaspersor. Em média, a lâmina total infiltrada (LTI) na distância de 0,20 m foi de 0,9 mm e na distância de 1m a LTI foi de 9,2 mm. As perdas de água por percolação nas distâncias de 0,6, 0,8 e 1,0 m foram iguais a 1,9, 2,6 e 2,4 mm, respectivamente (Figura 17). Apesar do bom desenvolvimento horizontal das raízes da bananeira quando

submetida ao sistema com um microaspersor de 60 L h^{-1} registrou-se perdas de água por percolação (1,9 mm), sendo a E_a igual a 79,72%.

As menores diferenças nos valores de lâminas infiltradas em relação às diferentes distâncias da planta para sistemas de microaspersão foi obtido no sistema que utiliza um microaspersor de 60 L h^{-1} para duas plantas (Figura 18), em que se observou o mais baixo valor de lâmina percolada dos sistemas de microaspersão (0,96 mm) e a mais alta eficiência de aplicação, de 89,54%.

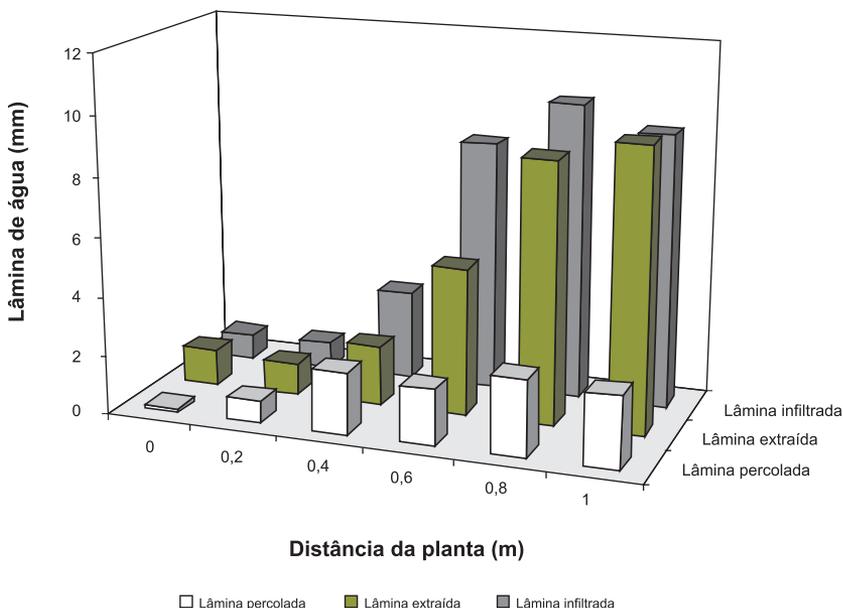


Figura 17. Lâminas de água infiltrada, extraída e percolada na irrigação da bananeira por sistema que utiliza um microaspersor de 60 L h^{-1} para quatro plantas.

Fonte: Silva (2009).

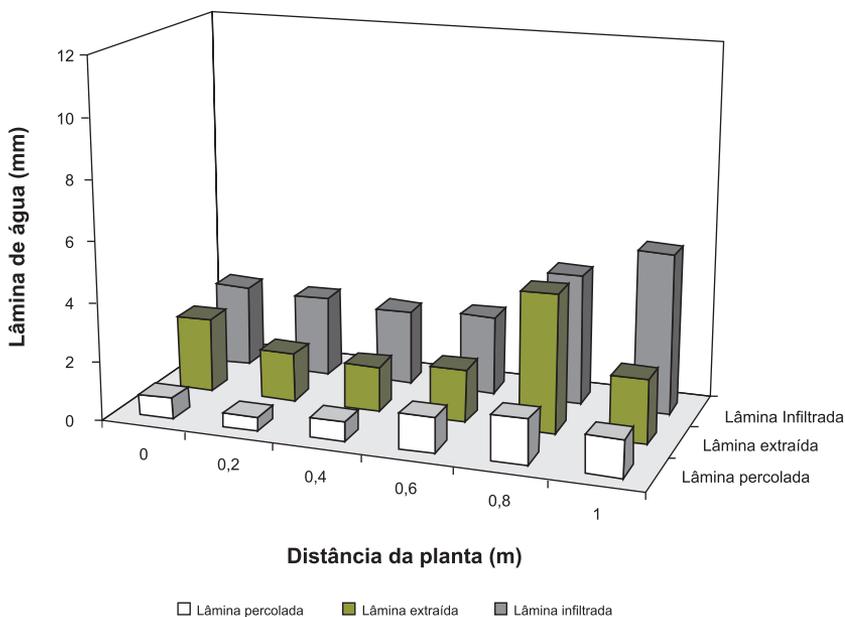


Figura 18. Lâminas de água infiltrada, extraída e percolada na irrigação da bananeira pelo sistema que utiliza um microaspersor de 60 L h^{-1} para duas plantas.

Fonte: Silva (2009).

Os resultados mostram a ocorrência de maior extração de água pela bananeira na medida em que se verifica um aumento na uniformidade de água distribuída no solo. Para um mesmo volume de água aplicado, obteve-se menores valores de percolação na medida em que a distribuição da água no solo se deu de forma mais uniforme, conseqüentemente, a lâmina total extraída foi maior, o que resultou em melhores valores de eficiência de aplicação de água.

5.2. Eficiência de aplicação por sistemas de gotejamento

Silva (2009) avaliou as perdas de água por percolação em sistemas de gotejamento e observou que houve perdas de

água por percolação em todos os sistemas de gotejamento testados. Os valores médios de água percolada em diferentes tempos após o início da irrigação (A.I) para os sistemas com dois gotejadores de 4 L h⁻¹ por planta (Sistema 1, Quadro 2), quatro gotejadores de 4 L h⁻¹ por planta (Sistema 2, Quadro 2) e gotejadores distribuídos em faixa contínua (Sistema 4, Quadro 2) são apresentados na Tabela 11. As lâminas de água percolada variaram significativamente apenas na primeira hora após o início da irrigação, não ocorrendo diferença significativa nos valores das lâminas médias percoladas no período entre 2 horas e 14 horas após o início da irrigação.

Tabela 11. Valores médios de percolação em diferentes tempos após a irrigação (A.I) em sistemas de irrigação por gotejamento na bananeira em Cruz das Almas-BA.

Sistema	Lâmina de água Percolada (mm)							
	1h	2h	4h	6h	8h	10h	12h	14h
1	0.2518 a	0.0725 a	0.0486 a	0.1160 a	0.0288 a	0.0821 a	0.0399 a	0.0000 a
2	0.1109 b	0.0510 a	0.1006 a	0.0270 a	0.0174 a	0.0397 a	0.0234 a	0.0094 a
4	0.1246 ab	0.0636 a	0.0414 a	0.0543 a	0.0317 a	0.0122 a	0.0252 a	0.0245 a

Valores seguidos por letras iguais não diferem significativamente pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade.

No sistema com dois gotejadores por planta, verificou-se uma região de grande intensidade de extração de água compreendida entre as distâncias horizontais da planta de 0,0 a 0,40 m, onde se observou a maior percentagem (82,24%) de comprimento total das raízes (Figura 19).

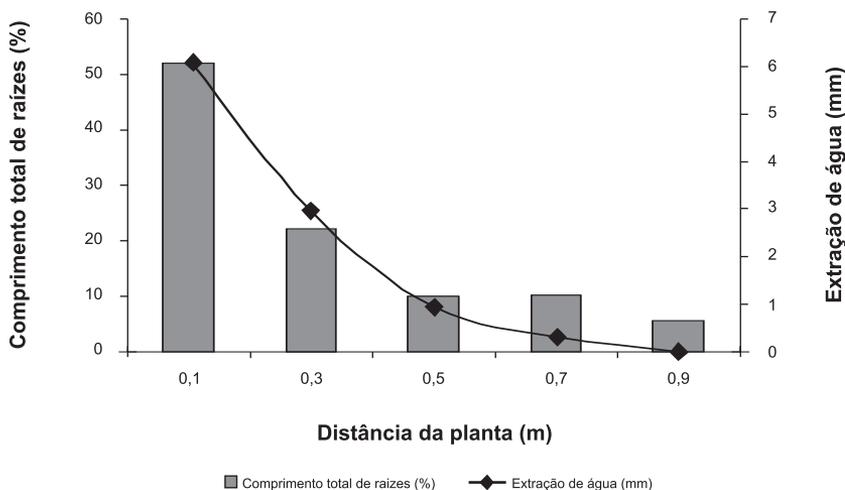


Figura 19. Comprimento total de raízes e extração de água em diferentes distâncias horizontais do pseudocaule da bananeira irrigada por um sistema de irrigação com dois gotejadores por planta.

Fonte: Silva (2009).

A infiltração da água no solo no sistema que utilizou dois emissores por planta com vazão de 4 L h^{-1} ocorreu em sua maior parte próximo ao pseudocaule da planta, não ultrapassando a distância de 0,6 m. Isto é justificado pela posição do gotejador que se localiza a aproximadamente 0,2 m da planta. As perdas de água por percolação foram verificadas até a distância de 0,6 m da planta, sendo mais intensa na distância de 0,2 m (2,82 mm). A perda por percolação média observada para este sistema foi de 1,36 mm (Figura 20).

Diante das informações supracitadas, percebe-se que a disposição do gotejador delimita as zonas de extração de água e a distribuição das raízes da planta quando da utilização do sistema com dois gotejadores. Neste sistema, a razão entre a lâmina de água média retida no sistema radicular da bananeira (mm) e a lâmina de água média aplicada (mm) resulta no valor de 0,8272 (Ea de 82,72%).

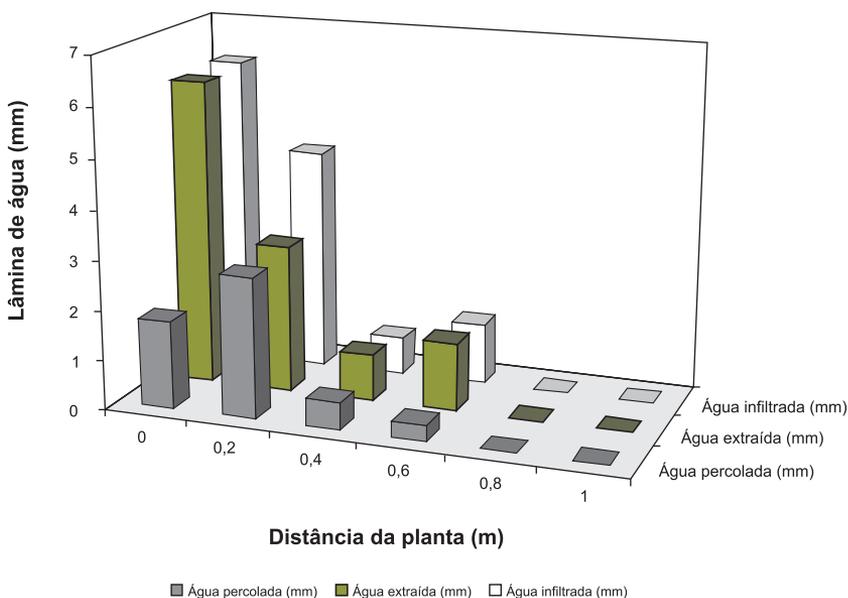


Figura 20. Lâminas de água infiltrada, extraída e percolada em diferentes distâncias horizontais da bananeira irrigada por um sistema de gotejamento com dois gotejadores por planta.

Fonte: Silva (2009).

Verificou-se que as zonas de atividade do sistema radicular da bananeira submetida ao sistema de irrigação por gotejamento com quatro emissores de 4 L h^{-1} por planta, ocorreram até a distância horizontal (R) de 0,7 m, onde 24,23, 27,93, 21,04 e 21,01% do comprimento total das raízes localizaram-se nas distâncias do pseudocaule a 0,1; 0,3; 0,5; e 0,7 m, respectivamente (Figura 21). A infiltração de água no sistema com quatro gotejadores por planta estende-se mais na distância horizontal do perfil do solo, quando comparado ao sistema com dois gotejadores. Neste sistema, as perdas por percolação foram 18,43% menores que as verificadas no sistema com um emissor por planta (Figura 22), sendo a média da Ea de 88,08%.

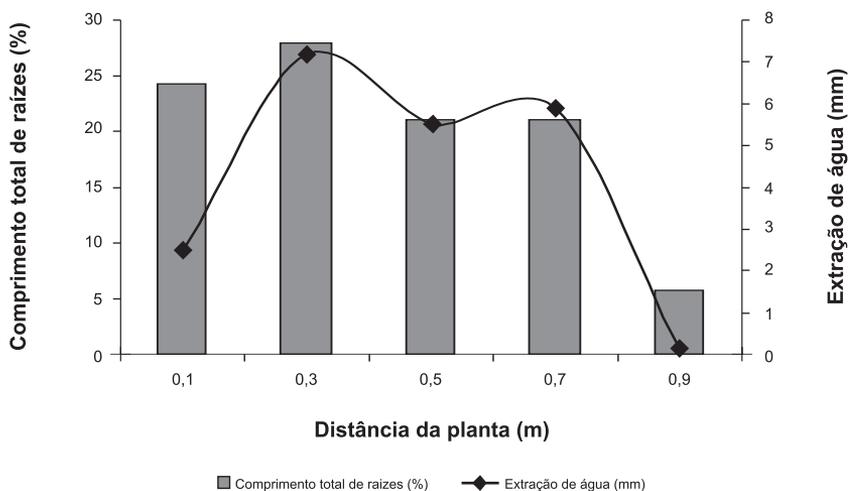


Figura 21. Comprimento total de raízes e extração de água em diferentes distâncias horizontais da bananeira irrigada por um sistema com quatro gotejadores por planta.

Fonte: Silva (2009).

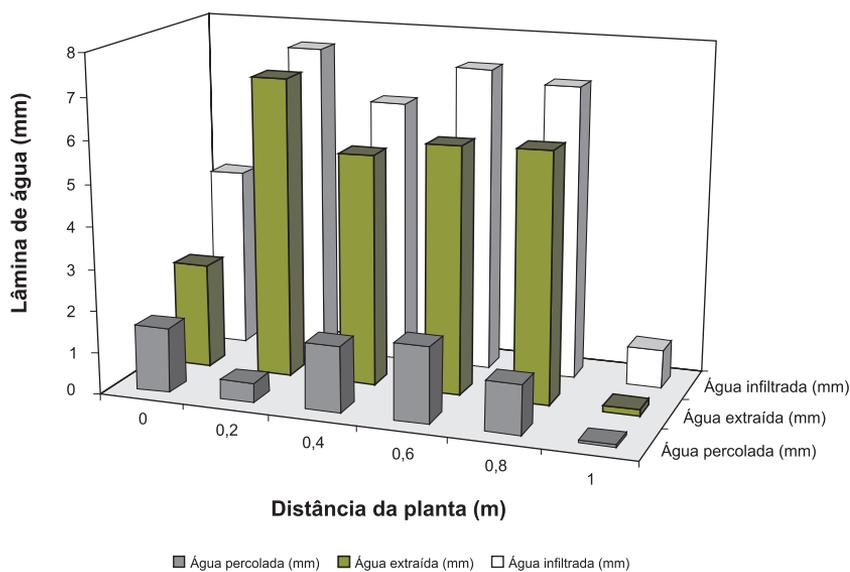


Figura 22. Lâminas de água infiltrada, extraída e percolada em diferentes distâncias horizontais da bananeira irrigada por um sistema com quatro gotejadores por planta.

Fonte: Silva (2009).

A lâmina de água média percolada (D_{Pm}) no sistema com gotejadores distribuídos continuamente na linha lateral foi 52,50 e 41,76% menor que as observadas nos sistemas com dois e quatro emissores, respectivamente. Isto é resultado de uma melhor distribuição de água ao solo proporcionado pela configuração dos gotejadores, dando condição a uma boa distribuição do sistema radicular da bananeira (Figura 23), fazendo com que a extração da água ocorresse em toda distância horizontal (Figura 24). Estes resultados reforçam a afirmação de que a distribuição de água no solo constitui uma variável determinante na distribuição de raízes sob irrigação localizada (CLAUSNITZER; HOPMANS, 1994; CLOTHIER; GREEN, 1994). Em adição, influencia também a E_a de um sistema de irrigação, uma vez que o aumento do número de emissores na linha lateral acarreta em aumento da E_a. Verificou-se que a média de E_a do sistema que utiliza cinco emissores de 4Lh⁻¹ foi a maior (92,47%) dos três sistemas estudados por Silva (2009).

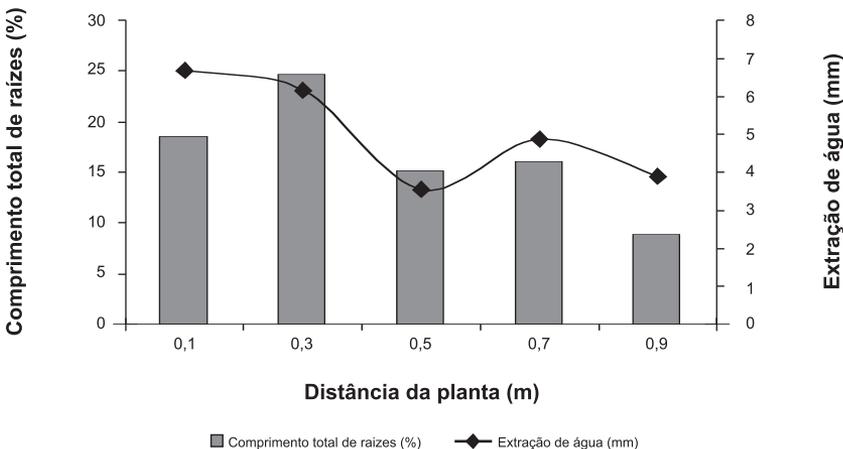


Figura 23. Comprimento total de raízes e extração de água em diferentes distâncias horizontais da bananeira irrigada por um sistema de irrigação com gotejadores distribuídos continuamente na linha lateral, Cruz das Almas-BA.

Fonte: Silva (2009).

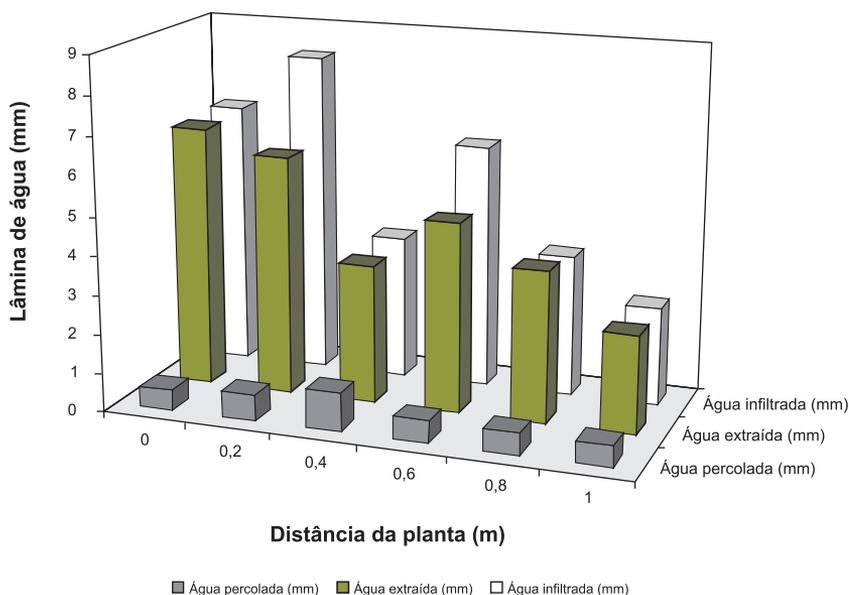


Figura 24. Lâminas de água infiltrada, extraída e percolada em diferentes distâncias horizontais da bananeira irrigada por um sistema de irrigação com gotejadores distribuídos continuamente na linha lateral, Cruz das Almas-BA.

Fonte: Silva (2009).

6. Distribuição de água no solo em sistemas de irrigação localizada

O conhecimento da distribuição da água no solo é de fundamental importância para a irrigação da bananeira, tanto do ponto de vista de dimensionamento quanto do manejo da irrigação.

De modo geral, a forma de se dimensionar projetos de irrigação obedece a uma sequência semelhante para os diferentes métodos e sistemas de irrigação existentes. Entretanto, a demanda de água pode variar de acordo com o método adotado. Por exemplo, o método por aspersão, em que

toda área é irrigada, a demanda de água deverá ser maior que nos métodos localizados, onde apenas parte da superfície do solo é molhada.

O efeito da área efetivamente molhada, no caso da irrigação localizada, resulta em um coeficiente de redução (K_r), o qual é utilizado para corrigir a evapotranspiração da cultura. Valores de K_r para bananeira são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Coeficiente de redução (K_r) para a bananeira conforme a área de ocupação da planta.

Área de ocupação (m ²)	Meses após o plantio		
	4	6	7
4,0	1,00	1,00	1,00
7,5	0,57	0,85	1,00
9,0	0,51	0,73	1,00

Fonte: Adaptado de Keller e Karmeli (1975).

Dentre os fatores que influenciam a formação do bulbo molhado pode-se destacar o tipo de solo, a vazão do emissor e o tempo de irrigação (PIZARRO, 1996). Outros fatores que influenciam as dimensões do bulbo molhado são: estrutura do solo, sistema de irrigação, altura do emissor em relação ao solo, umidade inicial do solo e presença de concreções e cascalho (BELL et al., 1990; FOLCH; FÁBREGA, 1999).

No que diz respeito ao sistema de irrigação, o número de emissores utilizados, bem como sua disposição em relação à planta, resultam em diferentes perfis de distribuição de água no solo (Figura 25), assim como determinados por Silva et al. (2006) em experimento avaliando a bananeira cv. BRS Tropical.

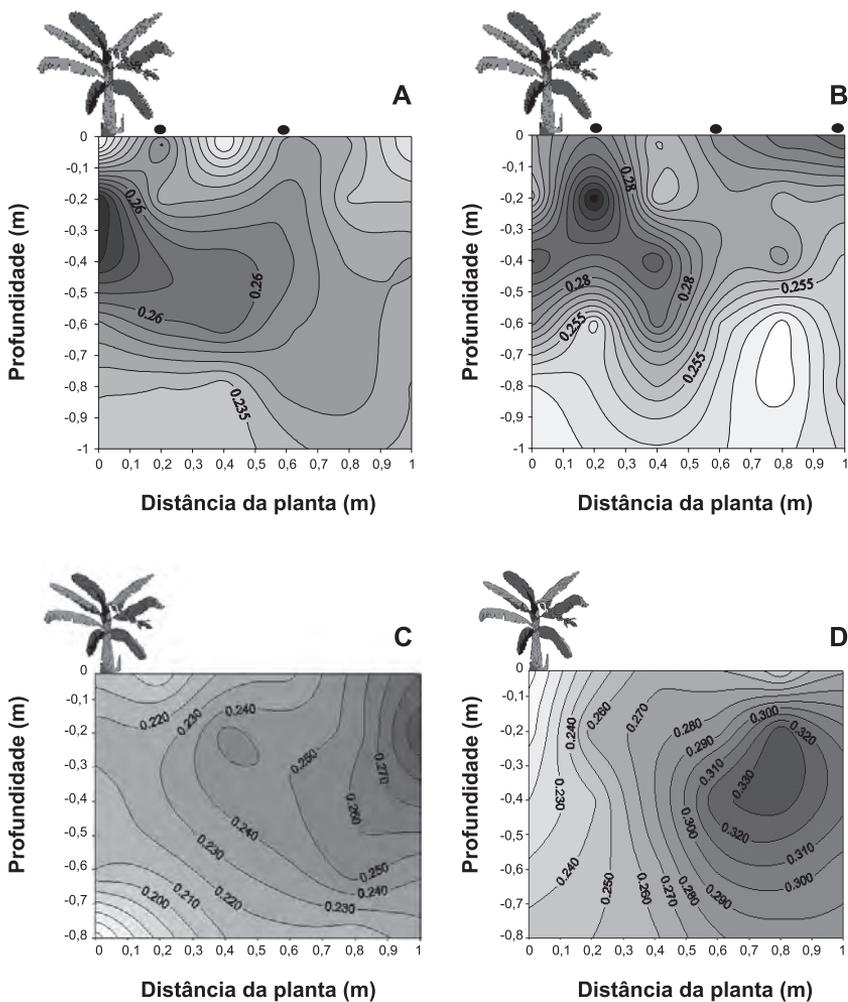


Figura 25. Distribuição de água no solo na irrigação da bananeira por sistemas de irrigação por gotejamento utilizando quatro emissores de 4 L h⁻¹ por planta (A); gotejamento com emissores de 4 L h⁻¹ distribuídos em faixa contínua (B); microaspersão utilizando um emissor de 43 L h⁻¹ para quatro plantas (C); microaspersão com um emissor de 60 L h⁻¹ para quatro plantas (D).

Fonte: Silva et al. (2006)

7. Avaliação de sistemas de irrigação

Após a instalação do sistema de irrigação e durante o primeiro ciclo de irrigação, é necessário avaliar e calibrar os equipamentos para garantir uma boa eficiência do sistema (BERNARDO et al., 2005).

O acompanhamento, análise e avaliação de um sistema de irrigação são fundamentais para um bom manejo da irrigação. Um dos parâmetros de maior importância para se conduzir um sistema de irrigação é a medição da vazão, tanto a aplicada na irrigação quanto a de escoamento no final da parcela, quando for o caso.

A calibração e o ajuste da eficiência das irrigações de um projeto de irrigação permitem que as operações de programação da irrigação, monitoramento e avaliação dos sistemas sejam de mais fácil execução.

7.1. Avaliação de sistemas de irrigação localizada

Os sistemas de irrigação por microaspersão e por gotejamento se destacam por apresentarem maior E_a e uniformidade de distribuição de água, quando comparados aos demais sistemas (PIZARRO, 1996).

De acordo com Keller e Karmeli (1975), torna-se necessária a realização periódica de avaliações do sistema de irrigação, para evitar a obstrução dos emissores. Esta obstrução pode ser causada por material orgânico em suspensão, deposição química, partículas minerais, topografia do terreno, pressão de operação, tamanho dos tubos, espaçamento entre emissores, variabilidade de vazão dos emissores e filtragem da água não adequada.

No sistema de irrigação localizada, a uniformidade de aplicação de água ao longo da linha lateral está intimamente relacionada com a variação de vazão dos emissores, a qual é uma consequência das perdas de energia por atrito e pelas inserções dos emissores, do ganho ou perda de energia devido à topografia da superfície do solo, da qualidade da matéria prima e dos processos de fabricação dos emissores (KELLER; KARMELI, 1975).

A uniformidade da irrigação é importante na avaliação do rendimento das culturas, sendo considerada no dimensionamento e na operação dos sistemas. Matos et al. (1996) ressaltam que vários fatores influenciam na uniformidade de distribuição de água de um microaspersor, destacando a posição do suporte, o ângulo de irrigação, o tronco e a folhagem das plantas irrigadas, o elemento distribuidor, a pressão de serviço, os reguladores e amortecedores e a vazão nominal.

Para os sistemas de irrigação localizada é mais frequente o uso do CUD, pois possibilita uma medida mais restrita, dando maior peso às plantas que recebem menos água (LÓPEZ et al., 1992). Merriam; Keller (1978) apresentam um critério geral para interpretação dos valores do CUD para sistemas que estejam em operação por um ou mais anos: maior que 90% (excelente); entre 80 e 90% (bom); entre 70 e 80% (regular); e menor que 70% (ruim).

Sempre que possível, durante os trabalhos de avaliação de sistemas de irrigação, devem ser acompanhados dados de temperatura, umidade relativa e velocidade e direção do vento, através de estação meteorológica automática, que registra e armazena periodicamente os dados, facilitando o trabalho do avaliador. Caso contrário, os mesmos devem ser determinados utilizando termômetros, psicrômetros e anemômetro.

7.1.1. Microaspersão

Na avaliação da irrigação por microaspersão normalmente são considerados a variação de vazão e pressão ao longo das laterais e em todo o setor. As medições de vazão e pressão normalmente são efetuadas no início, a um terço, a dois terços e no final de cada linha lateral, e em quatro posições localizadas no início, a um terço, a dois terços e no final da linha de derivação na subárea escolhida (Figura 26). Na determinação da vazão de cada microaspersor, utiliza-se um recipiente para coletar o jato de água por um determinado tempo. Após esta operação, determina-se o volume coletado com uma proveta graduada e divide pelo tempo, convertendo em vazão ($L h^{-1}$). Geralmente são efetuadas três repetições em cada microaspersor.

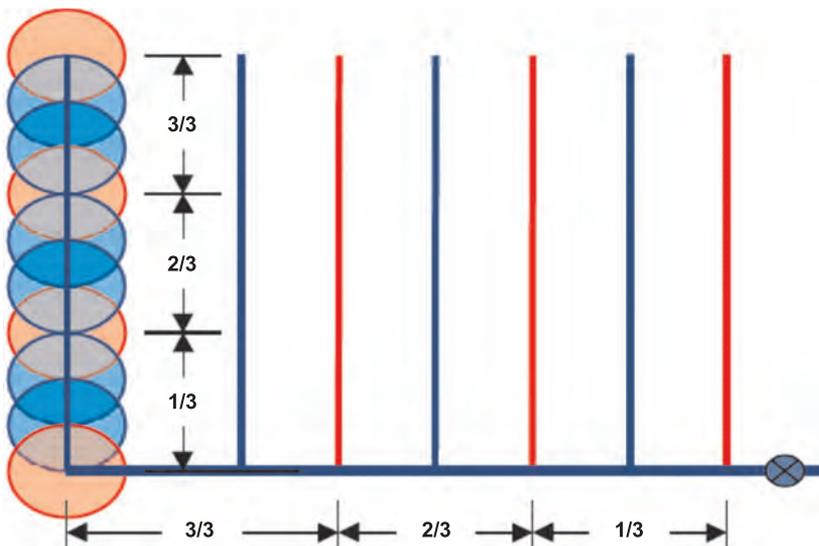


Figura 26. Esquema ilustrativo mostrando as linhas laterais que serão testadas dentro da linha de derivação, e os microaspersores, onde serão medidas vazão e pressão dentro de cada linha lateral.

As variações médias de vazão e pressão ao longo das laterais e em todo o setor são determinadas por meio das equações 5 e 6.

$$\Delta Q = \frac{Q_{max} - Q_{min}}{Q_{max}} \quad (5)$$

Em que:

ΔQ = variação de vazão na linha lateral (%);

Q_{max} = valor máximo da vazão (L.h⁻¹);

Q_{min} = valor mínimo da vazão (L.h⁻¹).

$$\Delta P = \frac{P_{max} - P_{min}}{P_{max}} \quad (6)$$

Em que:

ΔP = variação de pressão (%);

P_{max} = valor máximo da pressão (KPa);

P_{min} = valor mínimo da pressão (KPa).

A partir dos resultados de vazões podem ser determinados o coeficiente de uniformidade de Christiansen e o coeficiente de uniformidade de distribuição, por meio das equações 7 e 8 (KELLER; KARMELI, 1975).

$$CUC = \left[1 - \frac{\sum_i^n [q_i - q_{med}]^2}{n \cdot q_{med}^2} \right] \cdot 100 \quad (7)$$

Em que:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen do setor avaliado (%);

q_i = vazão de cada emissor ($L h^{-1}$);

n = número de emissores

q_{med} = média das vazões coletadas em todos os microaspersores do setor ($L h^{-1}$);

$$CUD = \left[\frac{q_{25\%}}{q_{med}} \right] \cdot 100 \quad (8)$$

Onde:

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição do setor avaliado (%);

$q_{25\%}$ = média de 25 % do total de microaspersores com menores vazões ($L h^{-1}$);

q_{med} = média das vazões coletadas em todos os microaspersores do setor ($L h^{-1}$);

Pela ASAE (1996), a avaliação da uniformidade de distribuição de água é baseada no método de estimativa da uniformidade em campo, proposto por Bralts e Kesner (1983), citado por Leal et al. (2003), fundamentado no coeficiente de uniformidade estatístico, que pode ser calculado pela equação 9:

$$CUE = (1-CVT) \cdot 100 \quad (9)$$

Onde:

CUE = coeficiente de uniformidade estatístico de irrigação (%);

CVT = coeficiente de variação total de vazão no setor (adimensional).

O coeficiente de variação total de vazão (CVT) pode ser determinado pela equação 10.

$$CVT = \frac{S_q}{q_{med}} \quad (10)$$

Em que:

S_q = desvio padrão da vazão dos emissores ($L h^{-1}$);

q_{med} = vazão média dos emissores do setor ($L h^{-1}$).

Os valores dos coeficientes calculados, utilizando vazões médias dos emissores, retratam a uniformidade de emissão de água da microaspersão e não a uniformidade de distribuição de água.

Em regiões onde a velocidade do vento é acentuada, a uniformidade de distribuição de água dos microaspersores é severamente afetada. Para a determinação deste parâmetro na microaspersão deve-se adotar o mesmo procedimento seguido na aspersão convencional, conforme descrito a seguir:

Exemplo de Aplicação – Experimento Ceraíma (Embrapa/IFBaiano)

- Analisando apenas os valores de vazão medidos, sem considerar o efeito do vento;
- Cultura: Banana Prata-Anã e PA-4244 (Cultivar Prata);

- Microaspersor: Netafin, autocompensante com bocal branco;
- Vazão: 70 L h⁻¹;
- Espaçamento: 6 m x 5 m.

Tabela 13. Procedimento seguido para o cálculo do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) na microaspersão

Parcela	Nº do Micro	Vazão	[Qi-Qm]	q _{25%}
Parcela 01	1	75,04	1,18	72,70
	3	79,76	3,54	74,90
	5	76,96	0,74	
	8	75,20	1,02	
Parcela 03	2	76,40	0,18	
	4	78,80	2,58	
	6	72,70	3,52	
	7	74,90	1,32	
		q_{med} = 76,22	Σ = 14,08	73,80

$$\Delta Q = \left[\frac{79,76 - 72,70}{79,76} \right] \cdot 100 \quad CUC = 100 \cdot \left[1 - \frac{14,08}{8 \cdot 76,22} \right] \quad CUD = 100 \cdot \left[\frac{73,80}{76,22} \right]$$

$$\Delta Q = 8,85\% \quad CUC = 97,70\% \quad CUD = 96,82\%$$

O experimento é constituído de três setores de microaspersores com duas linhas laterais cada. Foram escolhidas as parcelas 1 e 3 e as linhas laterais de número 1 em cada parcela, conforme recomendação. Em cada linha lateral foi determinada a vazão dos microaspersores 1, 3, 5 e 8, já que a mesma é composta por oito unidades.

7.1.2. Gotejamento

A uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação por gotejamento pode ser expressa através de vários

coeficientes, destacando-se o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) (BERNARDO et al., 2005; DENÍCULI et al., 1980).

A determinação da uniformidade de distribuição de água para irrigação por gotejamento deve seguir a metodologia apresentada por Merriam e Keller (1978), modificada por Denículi et al. (1980). Esta consiste na coleta de dados em oito emissores e em quatro laterais, ou seja, a primeira lateral, situada a $1/3$ da origem, situada a $2/3$ e a última lateral da linha de distribuição. Em cada uma das laterais, devem ser selecionados oito emissores. O primeiro a $1/7$ da origem, a $2/7$, $3/7$, $4/7$, $5/7$, $6/7$ e o último, conforme Figura 27. Com os dados coletados estima-se o CUC e o CUD.

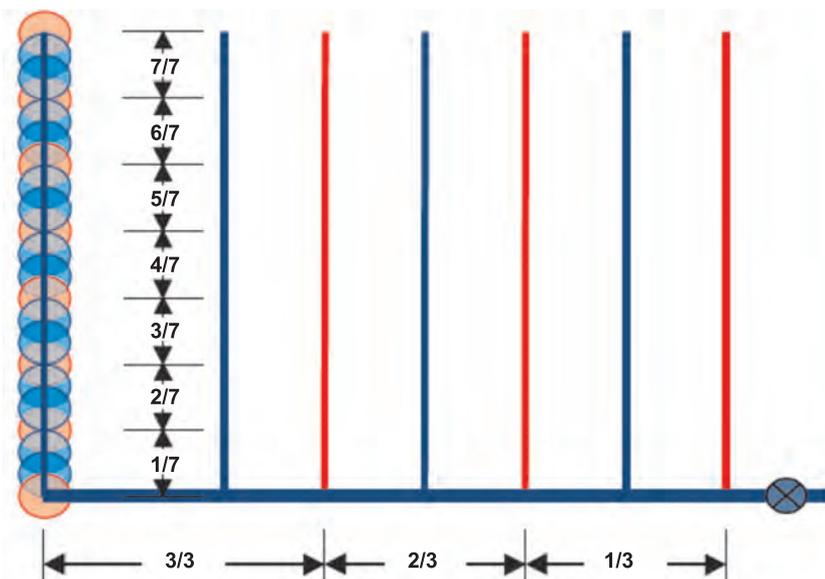


Figura 27. Esquema ilustrativo mostrando as linhas laterais que serão testadas dentro da linha de derivação, e os microaspersores, onde serão medidas vazão e pressão dentro de cada linha lateral.

A sequência de procedimentos de cálculo, bem como as equações utilizadas na avaliação da irrigação localizada por gotejamento, são exatamente as mesmas já descritas para microaspersão.

Para verificação do grau de aceitabilidade de distribuição de água dos sistemas de irrigação pode-se utilizar o procedimento de comparação do CUD e do CUE, estabelecido pela ASAE (1996), mostrados na Tabela 14.

Tabela 14. Comparação de uniformidades

Aceitabilidade	CUE	CUD
	----- % -----	
Excelente	100–95	100–94
Bom	90–85	87–81
Normal	80–75	75–68
Ruim	70–65	62–56
Inaceitável	<60	<50

Alguns outros parâmetros de comparação de resultados de avaliação de sistema de irrigação são apresentados a seguir (KELLER; KARMELI, 1974):

- variação da pressão dentro da linha lateral deve ser no máximo 11%;
- variação de pressão dentro do setor deve ser no máximo de 20%;
- variação de vazão admitida de 10% na linha lateral e de 20% no setor.

A ABNT (1987) recomenda valores de CUD de até 80% para microaspersão em topografia uniforme e gradiente de declive inferior a 2 %, enquanto Abreu et al. (1987) consideram dentro dos limites aceitáveis de funcionamento, valores de CUD acima de 80%.

7.2. Aspersão convencional

Na avaliação de um sistema de irrigação por aspersão convencional, o parâmetro mais importante é a uniformidade de aplicação de água dos aspersores. Consiste em distribuir coletores em uma malha de pontos em torno do aspersor ou da linha lateral. Quando se utiliza apenas um aspersor no teste, os espaçamentos entre aspersores e laterais são simulados, e os dados são sobrepostos convenientemente. No teste com uma linha lateral trabalhando diretamente no campo, o espaçamento entre aspersores é fixo, entretanto, pode-se simular diferentes espaçamentos entre linhas laterais (BERNARDO et al., 2005).

A Figura 28 mostra uma rede de pluviômetros distribuídos em malha de 3 metros em um sistema de aspersão, com espaçamento de 18 metros entre aspersores e de 18 metros entre linhas laterais. Neste caso, o teste foi feito no campo, com os pluviômetros distribuídos em malha entre os quatro aspersores, portanto, a sobreposição de lâminas foi feita diretamente pelos aspersores, não necessitando a sua simulação.

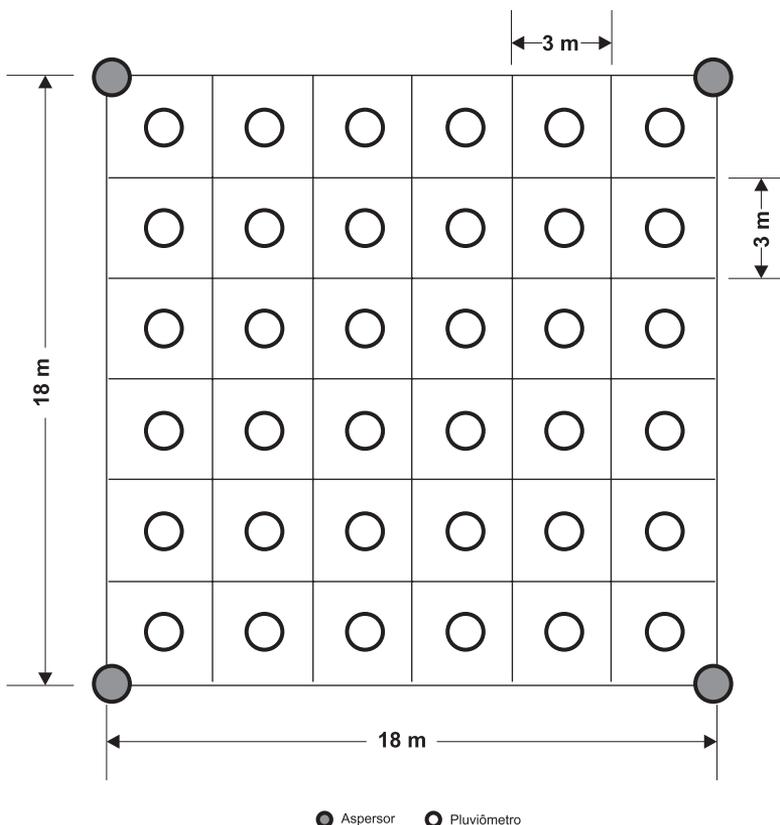


Figura 28. Disposição dos pluviômetros em rede para coletar a lâmina usada na determinação da distribuição de água do sistema de irrigação.

A área entre os aspersores é dividida em subáreas quadradas e os coletores de precipitação são colocados no centro de cada subárea. Assim, o volume ou a lâmina coletada em cada pluviômetro representa a precipitação em cada subárea. Ao realizar o teste de uniformidade, deve-se tomar nota de todas as características do aspersor, como marca, diâmetro de bocais e condições de operação como altura de elevação, pressão de serviço, vazão, duração e hora de execução do teste e

velocidade e direção do vento. Os coletores devem ser colocados em torno do aspersor que represente a pressão média. Para linhas em nível, esse aspersor geralmente está localizado a uma distância de 40% do comprimento total a partir do início da linha lateral. O tempo ideal de funcionamento em cada teste deve ser igual ou maior do que a metade do tempo que o sistema funcionará por posição durante as irrigações normais.

Existem diferentes coeficientes para expressar a uniformidade de aplicação de água de um sistema de irrigação por aspersão. O coeficiente de Christiansen, o coeficiente de uniformidade de distribuição, recomendado pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos; e o coeficiente estatístico de uniformidade, proposto por Wilcox e Swailes, são os três mais adotados (BERNARDO et al., 2005). O coeficiente de uniformidade de Christiansen pode ser calculado através da equação 11:

$$CUC = 100 \cdot \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^N |L_i - L_m|}{N \cdot L_m} \right] \quad (11)$$

Em que:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen do setor avaliado (%);

L_i = lâmina coletada no ponto "i" (mm);

L_m = lâmina média de todas as observações, mm;

N = número de coletores.

O coeficiente de uniformidade de distribuição é calculado por meio da equação 12:

$$CUD = 100 \cdot \left[\frac{I_q}{L_m} \right] \quad (12)$$

Em que:

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição do setor avaliado (%);

I_q = média de 25 % das observações com menores valores (mm);

L_m = média das precipitações (mm).

E o coeficiente estatístico de uniformidade pode ser calculado pela equação 13:

$$CUE = 100 \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - L_m)^2}{(n-1) \cdot L_m^2}} \right] = 100 \left[1 - \frac{S}{L} \right] = 100 - CV \quad (13)$$

Em que:

S = desvio padrão dos dados de precipitação;

L_i = precipitação observada em cada pluviômetro (mm);

L_m = média das precipitações (mm)

n = número de pluviômetros;

CV = coeficiente de variação das precipitações.

Exemplo de Aplicação – Experimento Ceraíma (Embrapa/IFBaiano)

- Cultura: Banana Prata-Anã e PA-4244 (Cultivar Prata);

- Irrigação: Aspersão convencional;
- Aspersor: Setorial;
- Bocal = 3,6 mm;
- Pressão de Serviço = 30 mca;
- Vazão = 1400 L h⁻¹;
- Diâmetro irrigado = 23 m;
- Espaçamento recomendado = 12 m x 12 m.

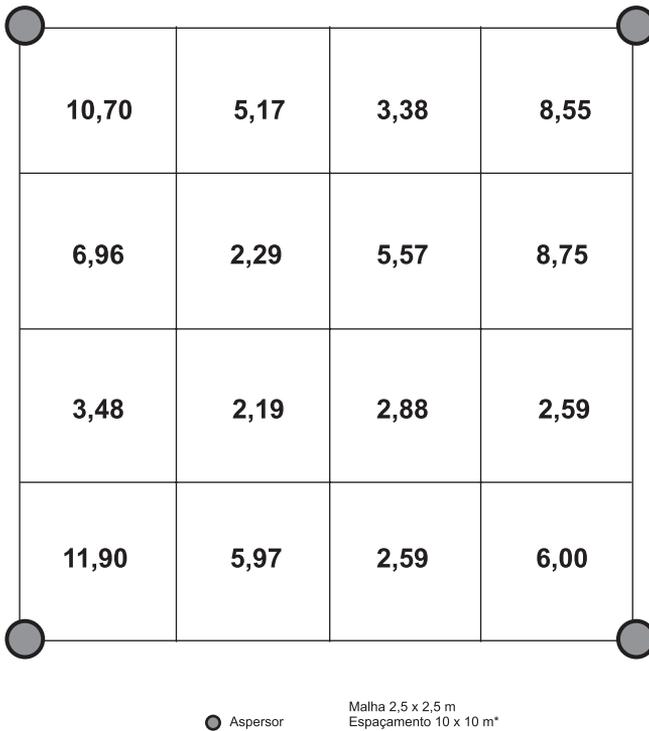


Figura 29. Distribuição da lâmina de água coletada (mm) entre os quatro aspersores testados para uniformidade de distribuição de água (CUC e CUD). *O espaçamento recomendado é 12 m x 12 m, mas o utilizado foi de 10 m x 10 m.

Cálculo de CUC e CUD

Tabela 15. Procedimento seguido para o cálculo do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) na aspersão convencional.

Nº do coletor	Lâmina (Li) (mm)	[Li-Lm]	Lq (25% < Lâminas) (mm)
1	10,70	5,179	2,19
2	6,96	1,399	2,29
3	3,48	2,083	2,59
4	11,90	6,372	2,59
5	5,17	0,392	
6	2,29	3,276	
7	2,19	3,376	
8	5,97	0,404	
9	3,38	2,182	
10	5,57	0,006	
11	2,88	2,680	
12	2,59	2,978	
13	8,55	2,990	
14	8,75	3,189	
15	2,59	2,978	
16	6,00	0,404	
	Média = 5,56	Soma = 39,89	Média 2,41

$$CUC = 100 \cdot \left[1 - \frac{39,89}{16 \cdot 5,56} \right]$$

$$CUC = 55,20\%$$

$$CUD = 100 \cdot \left[\frac{2,41}{5,56} \right]$$

$$CUD = 43,35\%$$

Como visto, os coeficientes de uniformidade são uma importante ferramenta para se determinar a qualidade de aplicação da água na irrigação, pois eles expressam a variabilidade de aplicação das lâminas de irrigação. Não obstante, após infiltrar

no solo, a água movimenta-se através dos poros do solo de um local de maior potencial para um de menor potencial, ocorrendo a redistribuição da água aplicada e, conseqüentemente, a possível melhoria na qualidade da irrigação, que pode estar em dissonância com a avaliada na superfície. Portanto, o conhecimento da redistribuição de água no solo em relação à distribuição da água na superfície para um determinado sistema de irrigação permite conhecer a uniformização da distribuição de umidade no solo. Partindo-se deste princípio, Oliveira et al. (2008) estudou a uniformidade de distribuição de água por sistema de irrigação por aspersão convencional acima e abaixo da superfície do solo, na camada 0-0,20 m em área plantada com bananeira cultivar PA 42-44, com aspersores espaçados em 12 m x 12 m. Os CUC obtidos em lâminas aplicadas nos períodos de 140, 192, 245 e 294 dias após o plantio (DAP) foram inferiores ao valor mínimo aceitável citado na literatura (80%) para o desempenho normal do sistema de aspersão. Os menores valores de CUC e CUD ocorreram nos períodos de 245 e 294 DAP, evidenciando a menor uniformidade de aplicação da água sobre o solo em função do crescimento das plantas, isto é, aumento da área foliar, número de folhas e altura de plantas (Tabela 16).

Tabela 16. Valores dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de uniformidade de distribuição (CUD) na superfície e abaixo da superfície do solo (0-0,2m) sob irrigação por sistema de aspersão no cultivo da bananeira

DAP	Superfície do solo		Abaixo da superfície do solo (0-0,2m)	
	CUC (%)	CUD (%)	CUC (%)	CUD (%)
140	52,67	43,26	79,90	74,41
192	55,72	43,13	79,43	78,60
245	38,23	36,00	81,68	75,99
294	40,91	28,03	–	–

DAP = dias após o plantio. Fonte: Oliveira et al. (2008).

Os valores de CUC e CUD relativos à uniformidade de distribuição abaixo da superfície do solo não tiveram a mesma variação dos coeficientes obtidos na superfície. A distribuição de lâminas de irrigação demonstrou que os melhores resultados ocorreram nos períodos correspondentes a 140 e 192 DAP. Contudo, em 245 DAP observou-se os piores resultados, possivelmente devido ao aumento do porte das plantas, influenciando os jatos emitidos pelos aspersores que eram interceptados pelas folhas e pelos pseudocaules.

8. Referências

- ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Field Evaluation of Microirrigation Systems**. St. Joseph, p.792-797. 1996.
- ALMEIDA, F. T.; MANTOVANI, E. C.; RAMOS, M. M.; SOARES, A. A. Eficiência de Irrigação na cultura da banana no Projeto Gorutuba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n.2, Abr./jun. 2003, p. 187-193.
- BARRETO, A.N. **Irrigação com bacias em nível: um novo manejo**. Fortaleza: EMEPA, 1992. 7p. Curso de irrigação em banana.
- BELL, J.P. et al. Soil water status: a concept for characterizing soil water conditions beneath a drip irrigated row crop. **Agricultural Water Management**, v.17, p.171-187, 1990.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de Irrigação**. 7. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 611p.
- CLAUSNITZER, V.; HOPMANS, J.W. Simultaneous modeling of transient three-dimensional root growth and soil water flow. **Plant and Soil, Dordrecht**, v. 164, n.2, p. 299-314, 1994.
- CLOTHIER, B.E.; GREEN, S.R. Rootzone processes and the efficient use of irrigation water. **Agricultural Water Management, Amsterdam**, v. 25, p. 1-12, 1994.
- COELHO, E. F.; SILVA, A. J. P. Da; MIRANDA, J. H. de. Definição do posicionamento de sensores para monitoramento da água no solo em bananeira irrigada por diferentes sistemas de irrigação localizada. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.4, p. 608-618, 2010.

- COELHO, E.F.; COSTA, E.L.; TEIXEIRA, A.H. de C. Irrigação. In: BORGES, A. L. et al. **A cultura da bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. p. 132-145.
- COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; PINHO, R. C.; SILVA, A. J. P. da. Crescimento inicial da bananeira irrigada por diferentes sistemas de irrigação por microaspersão. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM., 15., 2005, Teresina, [Anais...], 2005.
- DAKER, A. **A água na agricultura: irrigação e drenagem**. 6.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1984. v.3, 543p.
- DENÍCULI, W.; BERNARDO, S.; THIÉBAUT, J.T.L.; SEDIYAMA, G.C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v. 27, n. 150, p 155-162, 1980.
- DONATO, S. L. R.; ARANTES, A. de M.; SILVA, S. de O.; CORDEIRO, Z. J. M. Comportamento fitotécnico da bananeira 'Prata-Anã' e de seus híbridos. **Pesq. agropec. Bras.**, v.44, n.12, p. 1608-1615, 2009.
- DONATO, S. L. R.; LÉDO, A. A.; PEREIRA, M. C. T.; COELHO, E. F.; COTRIM, C. E.; COELHO FILHO, M. A..Estado nutricional de bananeiras tipo Prata sob diferentes sistemas de irrigação. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.45, n.9, p. 980-988, 2010.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Irrigation Water Management: Irrigation methods**, Series title: Irrigation water management, Training manuals, 1988.
- FOLCH, J.R.G.; FÁBREGA, J.A.G. El volumen húmedo del suelo en el riego localizado: importancia y evaluación. In: CARPENA, R.M. et al. (Eds). **Estudios de la zona no saturada del suelo**. Tenerife: ICIA, 1999. p.11-17.
- HOWELL T.A. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. **Agronomy Journal**, Madison, v.93, p.281-289, 2001.
- HSIAO, T. C., STEDUTO A. E., FERERES P., ELIAS A. E. A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. **Irrigation Science**, Berlin, v.25, p.209-231, 2007.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinholds, 1990, 650 p.
- KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora-California: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133 p.
- KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE. St. Joseph**, v.17, p.678-684,1974.
- LEAL, B.G.; FACCIOLI, G.G.; MANTOVANI, E.C. Generalização do coeficiente

de déficit da função de produtividade de culturas agrícolas proposta por Mantovani (1993). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32, 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBEA, 2003.

KLAR, A. E. **Irrigação**: frequência e quantidade de aplicação. São Paulo: Nobel, 1991. 156 p.

MATOS, J.A., DANTAS NETO, J., AZEVEDO, H.M, AZEVEDO, C.A.V. Características hidráulicas do microaspersor Dan sprinkler 2001. **Irriga**, v.1, n.3, p.30- 44, 1996.

LÓPEZ, J. R.; ABREU, J. M. H.; REGALADO, A. P.; HERNÁNDEZ, J. F. G. **Riego localizado**. Madrid: Ed Mundi-Prensa, 1992. 405p.

MANTOVANI, E.C.; RAMOS, M.M. **Manejo da Irrigação**. In: COSTA, E.F; VIEIRA, R.F; VIANA, P.A. (Ed.). **Quimigação**. Brasília, EMBRAPA, 1994. p. 129-158.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271p.

OLIVEIRA, S. L. **Manejo e métodos de irrigação para bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 1986. 9 p. III Curso Intensivo Nacional de Fruticultura.

PIZARRO CABELO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1996. 511 p.

PLAYÁN, E.; The physical principles of soil water movement during the irrigation cycle. In: **Proceedings of the Third Congress on International Irrigation Drainage**, 3, New Delhi, p. 125-154. 1957.

RAMOS, CLÓVIS MANOEL CARVALHO. Distribuição do sistema radicular e consumo de água da bananeira irrigada por microaspersão. 2001. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

RUIZ-SANCHEZ, M.C.; et al. Spatial root distribution of apricot trees in different soil tillage practices. **Plant and Soil**, v.272, n.1-2, p.211–221 2005.

SANT'ANA JUNIOR A. do V.; COELHO, E. F.; FARIA, M. Alves de; COELHO FILHO, M. A., SANTOS, C. da C. Distribuição de raízes de bananeira na fase de floração sob diferentes sistemas de irrigação no semiárido da Bahia. In: CONGRESO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA – CLIA., 9.; CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA., 39., CONBEA 2010. Vitória, ES. **Anais...**[Vitória, ES.], 2010a.

SANT'ANA, J. A. do V.; COELHO, E. F.; FARIA, M. A. de; CONCEIÇÃO, B. S.; SANTOS, C. da C.; DONATO, S. L. R. Sistema radicular de bananeira

sob irrigação localizada no segundo ciclo de produção. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO., 21, 2010, Uberaba MG. **Anais...**, 2010b.

SANT'ANA, J. A. do V.; COELHO, E. F.; CONCEIÇÃO, B. S.; SANTOS, C. da C.; FARIA, M. A. de; COTRIM, C. E.. Sistema radicular de bananeira irrigada por aspersão convencional em duas fases fenológicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA., 21.,2010, Natal, RN. **Anais...**, 2010c.

SANTANA JUNIOR, E. B.; COELHO, E. F., MENDES, J. O.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, P. M. de. Produtividade da bananeira "prata gorutuba" irrigada por diferentes sistemas de irrigação localizada In: CONGRESO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA., 9., CLIA; 2010; XXXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34., CONBEA, 2010. Vitória, ES. **Anais....** Centro de Convenções de Vitória, 2010.

SILVA, A.J.P., **Variáveis de eficiência, manejo de irrigação e de produção da bananeira cultivar BRS Tropical sob diferentes sistemas de microaspersão e gotejamento**, 2009. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.

SILVA, J. T. A. da; PACHECO, D. D. and COSTA, É. L. da. Atributos químicos e físicos de solos cultivados com bananeiras 'Prata-Anã' (AAB), em três níveis de produtividade, no Norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.29, n.1, p. 102-106, 2007.

SILVA, A.J.P.; COELHO, E.F.; SANTOS, M.R.; PINHO, R. E. C. P., COELHO FILHO, M. Distribuição de Água e Zonas de Extração pela Bananeira BRS Tropical Submetida a Diferentes Configurações de Sistemas de Irrigação por Microaspersão. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM., 16., 2006, Goiania-GO. **Anais...** Goiania, 2006 .

SOUZA LIMA, C. A.; MEIRELLES, M.L. Exigências hídricas e irrigação da bananeira. **Informe Agropecuário**. v. 12, p.37-39, 1986.

VIEIRA, D.B.; GENOVEZ, A.M.; GOMES, E.M. Determinação da profundidade efetiva do sistema radicular do milho (*Zea mays* L.) irrigado. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 1996, Campinas. **Anais...** Campinas: ABID, 1996. p.95-106.



Irrigação da bananeira

4

Eugênio Ferreira Coelho
Alisson Jadavi Pereira da Silva
Waldir Aparecido Marouelli
Flavio da Silva Costa

Manejo da água de irrigação

Capítulo 4

Manejo da água de irrigação

Eugênio Ferreira Coelho

Alisson Jadavi Pereira da Silva

Waldir Aparecido Marouelli

Flavio da Silva Costa

1. Introdução

Os produtores quando adquirem um sistema de irrigação recebem, em geral, apenas informações sobre o tempo e a frequência de irrigação, dados estes dimensionados para atender à capacidade de armazenamento de água no solo em questão e a E_{Tc} máxima para determinada cultura. Tais informações, entretanto, não consideram as diferentes fases da cultura ao longo de seu ciclo, o que pode levar a reposições de água no solo acima de sua necessidade real, ocasionando reduções na eficiência de irrigação. Dessa forma, as recomendações de irrigações constantes nos projetos são adequadas apenas para o dimensionamento dos sistemas de irrigação, que consideram valores fixos maximizados

da evapotranspiração dentro de períodos de retorno, que não coincidem com as necessidades das culturas às quais variam ao longo do ciclo e são dependentes das condições meteorológicas e da dinâmica da água no solo.

O produtor normalmente trabalha visando à segurança de sua produtividade e com isso tende também a alongar os tempos de irrigação além do necessário. Esse fato se agrava especialmente no caso do uso da irrigação por sulcos, feita de forma rústica, isto é, sem aprimoramento técnico, ou pelo uso da irrigação pressurizada de baixa eficiência, como a aspersão convencional. Esses elementos contribuem com a redução da eficiência de irrigação e do uso de água. No caso da bananeira, pelo fato de ser uma cultura exigente em água, a preocupação dos produtores em manter o solo com umidade elevada é ainda maior, o que implica em perdas de água, especialmente por percolação profunda. Além do desperdício de água e energia, a aplicação de excesso de água pode afetar negativamente tanto a produtividade quanto a qualidade das frutas produzidas. O excesso de irrigação favorece ainda perdas de nutrientes por lixiviação, em especial nitrogênio (N) e potássio (K), e pode favorecer várias doenças.

Para aumentar a eficiência de uso da água e alcançar a segurança alimentar, é necessário uma mudança fundamental no atual desperdício dos padrões de produção da agricultura irrigada. É possível aumentar a produtividade da maioria das culturas entre 10 e 30% e, ao mesmo tempo, reduzir o uso de água em até 30% somente por meio da adoção de estratégias apropriadas de manejo de irrigação (MAROUELLI et al., 2008).

Este capítulo tem por objetivo apresentar uma série de considerações sobre o manejo de água de irrigação na cultura da bananeira, enfocando os principais critérios empregados no manejo, os indicadores usados nesses critérios, os métodos de manejo de água de irrigação e as possibilidades existentes no manejo para aumento da eficiência de aplicação e de uso de água.

2. Considerações sobre o manejo de água de irrigação

O manejo da água de irrigação tem por objetivo principal manter o solo com a umidade dentro de uma faixa que permita o armazenamento de água nos poros do solo, que seja facilmente absorvida pelo sistema radicular da planta sem risco de limitação à planta, quer por excesso quer por deficiência. A faixa de umidade do solo disponível às plantas, isto é, aquela considerada entre os limites superior e inferior da água disponível, varia conforme o tipo de solo, mais especificamente com sua textura e estrutura. A força com que a água é retida no solo dentro dessa faixa aumenta a saturação do solo para o limite inferior da disponibilidade de água (Figura 1). À medida que a água do solo vai ficando restrita aos poros de diâmetros cada vez menores, o que pode ser visto numa curva de retenção de água do solo, maior é a força com que a água é retida no solo. Essas curvas são essenciais para diagnosticar a situação do estado de energia da água em qualquer solo, sendo que variam principalmente conforme a textura e a estrutura do solo.

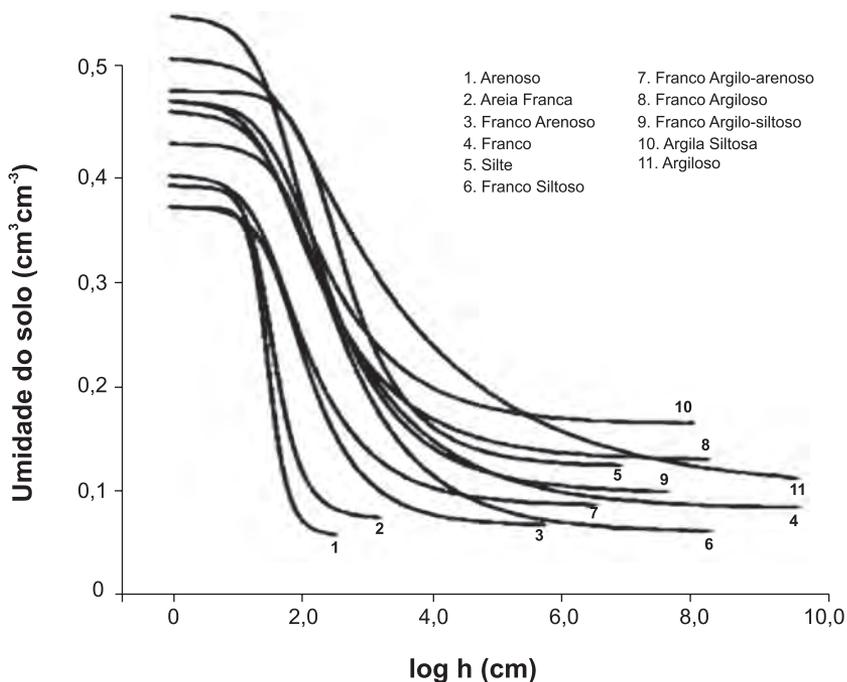


Figura 1. Curvas de retenção de água de diferentes solos. θ corresponde à umidade do solo.

Fonte: adaptado de Dasberg e Or (1999).

Considerando o limite superior da disponibilidade de água do solo como 100% da água disponível total e o limite inferior como 0% na curva de retenção de umidade, existe uma faixa e umidade abaixo do limite superior da disponibilidade de água, dentro da qual a cultura não sofre variação significativa no seu desenvolvimento e produtividade.

No caso da bananeira, uma redução de 25 a 50% da água disponível (AD) pode não trazer consequências negativas à cultura, dependendo do tipo de solo, das condições meteorológicas locais e da cultivar. A umidade do solo correspondente ao limite inferior dessa faixa de umidade adequada é chamada

de umidade crítica (θ_c). A variação dos valores de umidade do solo para as diferentes classes texturais dos solos pode ser observada na Figura 2. A variação nesses valores permissíveis de redução da disponibilidade reside no fato de que existem cultivares pouco tolerantes à deficiência hídrica do solo, como a Prata-Anã, enquanto há cultivares, como a BRS Tropical, mais tolerantes ao déficit hídrico.

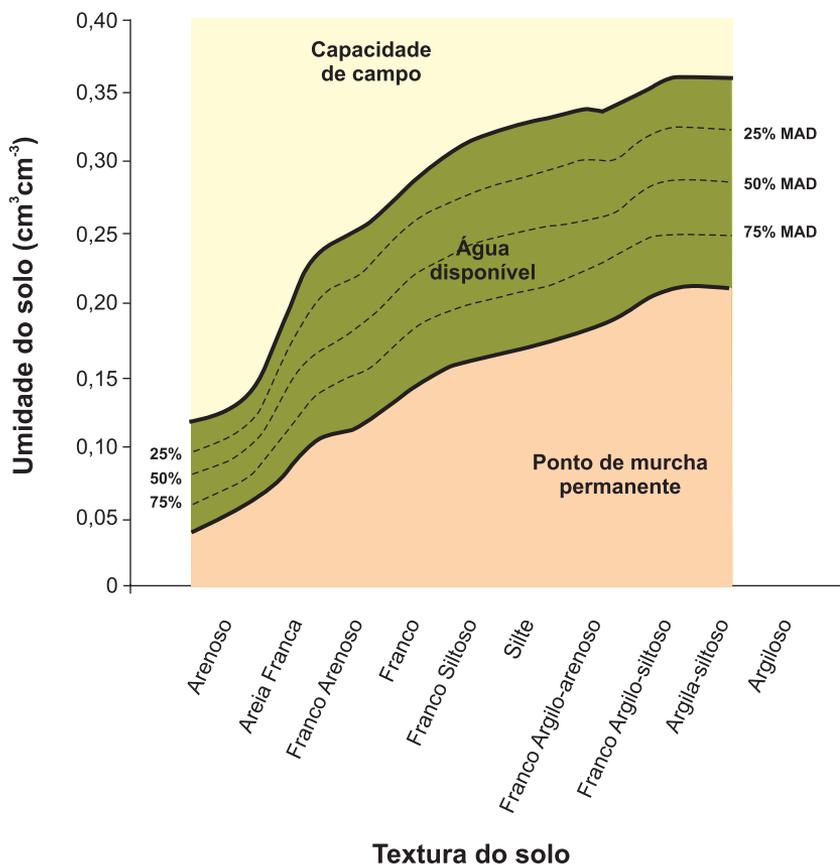


Figura 2. Relação entre classes texturais e níveis de umidades na capacidade de campo, na faixa de água disponível (AD) e no ponto de murcha permanente, com níveis de redução da AD.

Fonte: Bellingham (2009).

As condições meteorológicas determinam a demanda de transpiração pelas plantas. Quanto mais acentuada a transpiração maior a redução na umidade do solo em consequência de uma maior intensidade de absorção de água pelo sistema radicular. Nesse caso, para um mesmo tipo de solo, se as condições meteorológicas condicionam uma baixa demanda de evapotranspiração, a planta poderá se manter transpirando potencialmente por mais tempo comparada a uma situação de mais alta demanda de evapotranspiração (DENMEAD; SHAW, 1962).

A avaliação da faixa de umidade do solo que maximiza o desenvolvimento da cultura deve considerar a profundidade do solo de interesse no manejo da água. Embora todas as raízes possam absorver água em condições de umidade adequada do solo, inclusive nas camadas mais profundas, a consideração da profundidade total das raízes leva a valores inviáveis de lâmina de água nos cálculos da lâmina líquida necessária à cultura. Neste caso, adota-se a profundidade efetiva das raízes nos cálculos, isto é, aquela que contém 80% das raízes da planta. Na fase de floração da bananeira, quando a cobertura do dossel atinge a estabilidade, a profundidade efetiva das raízes é de 0,50 m, podendo variar de 0,40 a 0,60 m. (COELHO et al., 2008). A determinação da profundidade atual do sistema radicular, no caso do manejo da água para qualquer fase fenológica da cultura, pode se basear em um modelo linear, em que se associa o crescimento radicular ao coeficiente de cultura (K_c), segundo a equação (ALLEN, 1992):

$$R_z(j) = R_{zi} + \frac{K_c(j) - K_{ci}}{K_{c\max} - K_{ci}} (R_{z\max} - R_{zi}) \quad (1)$$

Em que: j é o dia decorrido do plantio; R_{zi} é a profundidade inicial do sistema radicular correspondente a de plantio, podendo ser considerada próximo de 0,15-0,20 m; K_{ci} é coeficiente de cultura inicial, entre 0,40 e 0,45; K_{cmax} é o coeficiente de cultura máximo (1,15); e R_{zmax} é a profundidade máxima efetiva das raízes em 0,50 m.

Outra forma de avaliar a profundidade atual do sistema radicular ao longo do ciclo é adotando um modelo de crescimento linear das raízes, o qual considera os dias de plantio (J_p) e o dia correspondente à cobertura efetiva do dossel (J_{ec}), isto é, quando a cultura estabiliza o crescimento, que pode ser considerada a data de emissão floral. Com isso, calcula-se a profundidade atual das raízes ($R_z(j)$) pela equação (ALLEN, 1992):

$$R_z(j) = R_{zi} + \frac{j - j_p}{j_{ec} - j_p} (R_{zmax} - R_{zi}) \quad (2)$$

A obtenção do intervalo de umidade do solo adequada à bananeira deve considerar o sistema de irrigação. Por exemplo, sistemas de irrigação por aspersão e sulco, em que se aplica maior lâmina de água em um só evento de irrigação, estão relacionados a turnos de rega maiores, o que pode trazer a umidade a valores abaixo da umidade crítica durante parte do período entre eventos de irrigação. O uso da irrigação localizada, de alta frequência, tem sido considerado o mais adequado para manter a umidade do solo na faixa de umidade adequada à bananeira.

Um aspecto também a ser considerado no manejo da irrigação da bananeira refere-se à disposição do produtor em adotar o manejo adequado da água de irrigação. Existe a

possibilidade do produtor não procurar seguir uma irrigação de forma técnica, mesmo consciente da faixa ideal de umidade que o solo deve estar sujeito, preferindo manter aplicações de água acima do necessário, com redução da eficiência do sistema de irrigação.

O produtor deve promover uma aplicação de água de irrigação à cultura de forma a atender a necessidade da mesma, ou seja, no momento e com quantidade que maximize seu desenvolvimento e produção. No manejo da água de irrigação, o produtor deve estar ciente de que a planta está no desenvolvimento adequado para a condição irrigada e que, para isso, o solo deve estar dentro da faixa de umidade adequada durante todo o ciclo da cultura da bananeira. Isso poderá ser avaliado por meio de indicadores do estado da água do solo, na planta e na atmosfera que envolve a cultura.

A irrigação, quando adequadamente manejada, resulta nas seguintes vantagens ao produtor: (i) propicia condições de maximização do uso da área irrigada, permitindo setorização da irrigação com dispêndio racional de água; (ii) maximiza o armazenamento da água do solo, reduzindo custos de água, energia e mão de obra com irrigações eficientes; (iii) minimiza perdas de nutrientes por escoamento superficial ou por lixiviação no perfil do solo; (iv) aumenta a produtividade e a qualidade de frutos, com maior retorno econômico ao produtor; (v) minimiza problemas de encharcamento do solo e reduz a necessidade de drenagem; (vi) atua no controle da salinidade da zona radicular por meio de lixiviação planejada e controlada de sais.

3. Critérios de manejo da água de irrigação em bananeira

Os critérios usados para o manejo da água de irrigação constituem-se em uma série de recomendações referentes ao estado da água no solo, na planta e na atmosfera. Estes refletem, em última análise, a interação da planta com o meio ambiente, visando à maximização do desenvolvimento e produtividade da mesma.

3.1. Critérios com base em variáveis do estado da água no solo

As variáveis de interesse são aquelas que qualificam e quantificam o estado da água no solo. A quantificação permite avaliar a relação da quantidade armazenada com a necessidade da planta e permite estimar a quantidade a ser aplicada ao solo para atender tal necessidade. Essas variáveis referem-se à umidade do solo e ao potencial de água ou tensão de água do solo, cuja mensuração ou estimativa se faz por instrumentos que usam indicadores com base na curva de retenção para definir o estado atual da água no solo. Os critérios, portanto, visam a estabelecer faixas de umidade ou de tensão de água do solo em que as raízes da bananeira se desenvolvem, sem limitações no aspecto de disponibilidade de água na zona radicular.

3.1.1. Uso do tato como indicador do momento da irrigação

O uso das próprias mãos como indicador da faixa de umidade mais adequada à bananeira consiste em obter uma

amostra de solo na profundidade desejada, entre um quarto (25%) e a metade (50%) da profundidade efetiva do sistema radicular, encher a mão com o solo de modo que se possa fechá-la completamente. A Tabela 1 expressa as possíveis ocorrências com amostras de solo de diferentes classes texturais.

Tabela 1. Avaliação da umidade do solo para estimativa de diferentes níveis de água disponível (AD), conforme a textura, consistência e aparência do solo.

Textura do solo				
AD (%)	Grossa	Moderadamente grossa	Média	Fina
100	Ao ser comprimido não perde água, mas umedece a mão	Ao ser comprimido não perde água, mas umedece a mão, aparência escura	Ao ser comprimido não perde água, mas umedece a mão, aparência escura	Ao ser comprimido não perde água, mas umedece a mão, aparência escura
75 – 100	Tende a se manter coeso; às vezes forma torrão que se rompe facilmente	Forma torrão que se rompe facilmente e não desliza entre os dedos, aparência pouco escura	Forma torrão muito maleável que desliza facilmente entre os dedos, aparência pouco escurecida	Ao ser comprimido desliza entre os dedos na forma de lâmina, aparência pouco escurecida
50 – 75	Seco, não forma torrão	Tende a formar torrão que raramente se conserva, aparência pouco escurecida	Forma torrão, algo plástico, que às vezes desliza entre os dedos ao ser comprimido, aparência pouco escurecida	Forma torrão que desliza entre os dedos na forma de lâmina ao ser comprimido, aparência pouco escurecida
25 – 50	Seco, não forma torrão	Sinais de umidade, mas não forma torrão	Forma torrão, algo plástico, mas com grânulos	Maleável, formando torrão
0 – 25	Seco, solto, escapa entre os dedos	Seco, solto, escapa entre os dedos	Seco, por vezes formando torrão que raramente se conserva	Duro, esturricado, às vezes com grânulos soltos na superfície

Fonte: Ministry of Agriculture and Lands, British Columbia, 2006.

Enquanto o tato pode ser usado como indicador do momento de irrigação, a quantidade de água que o produtor deve aplicar deverá ser determinada por experiência do mesmo, verificando após a irrigação novamente a umidade pelo mesmo método.

Este procedimento visa saber se a umidade encontra-se no limite superior da água disponível do solo. O uso do tato é um artifício para situações onde haja dificuldade de uso de instrumentos de medição da umidade ou da tensão de água do solo, o que é comum em áreas de pequenos produtores irrigantes.

3.1.2. Uso da curva de retenção de água do solo para indicação do momento de irrigação e da quantidade de água a ser aplicada

A curva de retenção de umidade do solo, ou de água do solo, é indispensável no manejo da água de irrigação. Uma vez conhecida a umidade crítica e/ou a tensão crítica de água do solo, a curva de retenção permitirá determinar a umidade do solo no momento de se irrigar e a quantidade de água a ser aplicada à cultura.

Para determinação da curva de retenção, as amostras de solo são coletadas em campo na profundidade representativa do sistema radicular e levadas ao laboratório para análise. Para solos de textura média e argilosa, pelo menos cinco pontos, ou tensões, são necessárias, sendo estas: 10, 33, 100, 500 e 1500 kPa. Já para solos de textura arenosa utilizam-se normalmente as tensões de 6, 10, 33, 100, 500 e 1500 kPa. Deve-se coletar amostras de preferência não deformadas em solos com estrutura definida. Com os dados de umidade em base volumétrica ($\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$) e de tensão de água no solo pode-se obter a curva de retenção de água do solo por meio de modelos matemáticos disponíveis. Dentre eles, destaca-se o de Van Genuchten (1980):

$$\theta_a = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \cdot T_s)^n]^m} \quad (3)$$

Em que:

θ_a é a umidade atual do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ_r é a umidade residual do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); θ_s é a umidade de saturação do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$); T_s é a tensão de água do solo (kPa); α é a constante com dimensão igual ao inverso da tensão (kPa^{-1}); n e m são constantes adimensionais de ajuste da equação, sendo que $m = 1/n$.

A equação pode ser ajustada aos dados de umidade e tensão de água do solo por meio de aplicativos computacionais, tais como Soil Water Retention Curve - SWRC (Dourado Neto et al., 2001), RETC (Van Genuchten et al., 1992) ou com uso de planilha eletrônica (Excel), com uso da função "solver", conforme os seguintes passos:

- Entrar com os dados experimentais de umidade do solo (θ_{medido}) e de potencial matricial (h_m) em duas colunas de uma planilha;
- Estabelecer células para cada parâmetro do modelo, ou seja, θ_s , θ_r , α e n ; crie uma célula para que m seja calculado em função de n , isto é, $m = 1/n$;
- Digitar valores iniciais aproximados para esses parâmetros; se os valores iniciais estiverem distantes da solução, o modelo pode convergir em um ponto de extrema local e não global, o que pode levar a trocar o valor inicial;
- Aplicar ou digitar a equação de Van Genuchten (1980) para θ_{estimado} na terceira coluna da planilha, considerando os parâmetros α e n como variáveis, isto é, as células que contêm valores iniciais dos parâmetros. θ_s e θ_r poderão ou não ser consideradas variáveis;

- Inserir na quarta coluna os valores dos desvios $(\theta_{\text{medido}} - \theta_{\text{estimado}})^2$;
- Definir uma célula com a soma dos quadrados dos desvios entre os valores medidos e estimados de θ , ou seja, $\Sigma[(\theta_{\text{medido}} - \theta_{\text{estimado}})^2]$ que será a função objetiva do processo de otimização que ocorre;
- Aplicar o solver da planilha para minimizar a soma dos quadrados dos erros (soma dos quadrados dos erros = 0) com as seguintes restrições: $0 \leq m \leq 1$; $\theta_r \geq 0$;
- Computar a variância dos valores de θ_{medido} , empregando a função correspondente da planilha eletrônica $\text{VAR}(\theta_{\text{medido}})$;
- Determinar o coeficiente de determinação do ajuste dos dados (em número N) ao modelo;

$$R^2 = \frac{1 - \Sigma (\theta_{\text{medido}} - \theta_{\text{estimado}})^2}{N \cdot \text{VAR}(\theta_{\text{medido}})}$$
- Digitar dados de h_m em intervalos pequenos, numa coluna de forma a envolver todos os dados de h_m na faixa da curva de retenção incluindo os medidos. Na coluna seguinte, aplicar o modelo $(\theta_{\text{estimado}})$ já com os parâmetros θ_s , θ_r , α e n resultantes dos passos anteriores.
- Elaborar o gráfico com θ_{medido} , θ_{estimado} em função de h_m .

Outra forma de obtenção dos parâmetros da equação de van Genuchten (1980) é usando funções de pedotransferência, tais como as obtidas com solos do Brasil (COSTA et al., 2010; MELLO et al., 2005; HODNETT; TOMASELLA, 2002). Um exemplo dessas funções de pedotransferência são as obtidas por Costa et al. (2010), conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Funções lineares de estimativa de θ_s , θ_r , α e n para diferentes tipos de solos.

	Arenoso				Franco Arenoso				Argilo Arenoso				Argiloso			
	θ_s	θ_r	α	n	θ_s	θ_r	α	n	θ_s	θ_r	α	n	θ_s	θ_r	α	n
Intercepto	0,084	-0,171	-21,073	120550	476,123	13810	-55540	-191911	9473	-102967	-747931	-24,19	-6389	3,022	1,120	187,4
AR				-263,7	-7,217						30,246	-3,169	0,080	0,164	-0,584	-3,655
SL					-7,781		1,204	29,87	-1333							-1,433
AG							-38,016									-162300
PT																
dS				300212	-215,470				11,277	78,795	502905	29945	5,196	-10391		
AR*					0,017					193,582		0,0562	6982	-0,0026		
SL*	0,0128			-14,097	0,056		0,0065	-0,296							0,454	0,0098
dS*				-12399	12952		6,155	88,337	-2,793	-16,091						12,630
PT*				-15504409	-122547		-49,553	-314,195	-98,747			-51,111				161,483
AR*SL				3,732	0,065		0,0052		-0,009	0,0024		0,033			-0,0019	-0,014
AR*AG							-0,0089		-0,009			0,569	-0,065	-0,0015	-0,0014	-0,872
AR*dS				89354	4,278		0,257	8,048		0,065			-0,0009	0,187	0,115	
AR*PT																
SL*Ag																
SL*dS				0,0149	-1,074				8,225		-1,294		0,078	0,279		3,419
SL*PT	- 3,390	-0,0136		510921	1,285	0,538				0,084				1,094		
AG*dS				1587083	-1,695											
AG*PT																
dS*PT				-23,083	-35,862							1,278				
AR*SL*AG				-29778244		47,211						-51,805				
AR*SL*Ds				-0,431		0,0002			0,0006							
AR*SL*PT				-6,567			-0,183									
AR*AG*Ds	0,033			-19,608												
AR*AG*PT																
AR*dS*PT				199,743												
SL*AG*dS				3323												
SL*AG*PT	0,0976			-54,177												
SL*dS*PT																
AG*dS*PT																
AR*SL*AG*dS																
AR*SL*AG*PT																
AR*SL*dS*PT	0,00033															
SL*AG*dS*PT																
AR*SL*AG*dS*PT - 0,000045				0,733	0,0011							0,0024				
R²	0,72	0,852	0,826	0,922	0,815	0,788	0,813	0,861	0,798	0,802	0,859	0,716	0,798	0,934	0,811	0,786

Fonte: Costa et al. (2010)

A equação da curva de retenção de água do solo permite inserir a tensão, ou potencial matricial, correspondente ao limite superior da disponibilidade de água na mesma e obter a umidade do solo correspondente a esse limite, também comumente chamado de capacidade de campo do solo. Os valores das tensões correspondentes à capacidade de campo do solo podem ser considerados próximos de 6 kPa para solos arenosos, entre 10 e 20 kPa para solos de textura média e entre 20 e 33 kPa para solos de textura argilosa. Na ausência da curva de retenção pode-se usar estimativas dos valores de umidade do solo correspondentes à capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível do solo, conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Valores de capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível em % volume para diferentes classes texturais de solo.

Textura	Capacidade campo		Ponto murcha		Água disponível	
	Média	Faixa	Média	Faixa	Média	Faixa
Arenosa						
Areia	12	07-17	04	02-07	08	05-11
Areia franca	14	11-19	06	03-10	08	06-12
Moderadamente arenosa						
Franco-arenoso	23	18-28	10	06-16	13	11-15
Média						
Franco	26	20-30	12	07-16	15	11-18
Franco-siltoso	30	22-36	15	09-21	15	11-19
Silte	32	29-35	15	12-18	17	12-20
Moderadamente fina						
Franco-argilo-siltoso	34	30-37	19	17-24	15	12-18
Fina						
Argilo-siltoso	36	29-42	21	14-29	15	11-19
Argiloso	36	32-39	21	19-24	15	10-20

Fonte: Allen (1992)

O limite inferior da disponibilidade de água do solo ou ponto de murcha permanente, normalmente é adotado como sendo equivalente à tensão de 1500 kPa.

A lâmina de água disponível às plantas que pode ser armazenada pelo solo é aquela contida entre o limite superior de disponibilidade de água no solo (capacidade de campo) e o limite inferior de disponibilidade de água no solo (ponto de murcha permanente). Desta forma, a lâmina total de água disponível na camada de solo correspondente à profundidade efetivamente explorada pelo sistema radicular da cultura pode ser calculada pela equação 4:

$$\text{LTD} = 10 \cdot (U_{\text{CC}} - U_{\text{PMP}}) \cdot \rho_b \cdot Z_r \cdot f_{\text{Am}} \quad (4)$$

Em que:

LTD é a lâmina total de água disponível no solo para as plantas (mm); U_{CC} é a umidade do solo correspondente à capacidade de campo (g g^{-1}); U_{PMP} é a umidade do solo correspondente ao ponto de murcha permanente (g g^{-1}); ρ_b é a densidade do solo (g cm^{-3}); Z_r é a espessura da camada de solo correspondente à profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (cm); e f_{Am} é a fração de área molhada (decimal).

Uma vez com a curva de retenção, conhecendo-se a equação que melhor se ajusta aos valores medidos da mesma e os pontos limites da disponibilidade de água, pode-se determinar a umidade ou potencial matricial do solo com base na redução permissível da disponibilidade de água. Este ponto limite diz respeito à umidade crítica ou potencial crítico, abaixo dos quais a cultura da bananeira é significativamente afetada em seu desenvolvimento.

A redução possível da disponibilidade dependerá da cultivar, mas para cultivares comerciais, como a Prata-Anã, esse valor é 30%. O potencial crítico ou a umidade crítica serão obtidos por:

$$\theta_C = \theta_{CC} - (\theta_{CC} - \theta_{PM}) \cdot 0,30 \quad (5)$$

Com a umidade (θ) dada em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Caso a umidade (U) seja fornecida (g g^{-1}) tem-se a equação 5 como:

$$U_C = \rho_b [U_{CC} - (U_{CC} - U_{PM}) \cdot 0,30] \quad (6)$$

Explicitando na equação 3, a tensão de água do solo, obtém-se a tensão crítica:

$$T_c = \frac{1}{\alpha} \left[\left(\frac{\theta_S - \theta_r}{\theta_C - \theta_r} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right]^{\frac{1}{n}} \quad (7)$$

Em que θ é dado em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Pode-se, também, obter a tensão crítica a partir da curva de retenção, na qual se conhece a umidade crítica (Figura 3).

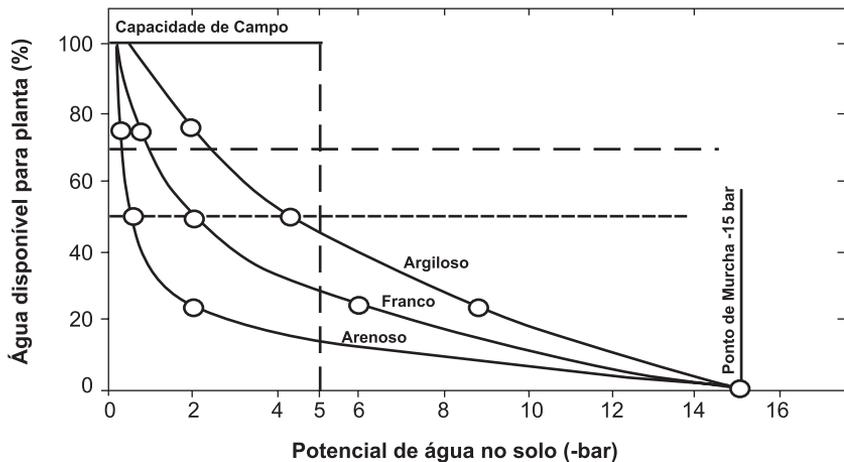


Figura 3. Determinação da tensão crítica na curva de retenção de umidade.

Fonte: Martin (2009).

Na ausência de dados da curva de retenção de água do solo, que possam permitir a obtenção da umidade ou tensão crítica para a cultura da bananeira, pode-se utilizar a Tabela 4.

Tabela 4. Umidade e tensão crítica de solos de diferentes classes texturais para a cultura da bananeira.

Classificação Textural	Umidade Cap.campo (m ³ m ⁻³)	Umidade p. murcha (m ³ m ⁻³)	Umidade Crítica (m ³ m ⁻³)	Tensão Crítica (kPa)
Arenosa	0,1700	0,0847	0,1374	10
Areia Franca	0,1997	0,0549	0,1563	14
Franco-Arenosa	0,2094	0,0807	0,1708	16
Franco	0,3156	0,1033	0,2519	26
Franco –Argilo-arenosa	0,2355	0,0894	0,1917	19
Argilo-Arenosa	0,1639	0,1508	0,1599	14
Franco- Argilo-siltosa	0,2397	0,0743	0,1901	23
Argila	0,3560	0,2555	0,3111	49

3.1.3. Sensores de mensuração da umidade do solo úteis para o manejo da irrigação

A umidade do solo pode ser determinada por métodos diretos, como o gravimétrico padrão de estufa, e indiretos tais como de moderação de nêutrons, reflectometria no domínio do tempo (TDR) e reflectometria no domínio da frequência (FDR) (BERNARDO et al., 2005). No Brasil, os métodos indiretos, que são importados e de custos elevado, ainda são pouco utilizados em nível de campo. Por outro lado, são bastante utilizados para fins de pesquisa em irrigação.

No caso da TDR, o uso de sistemas de aquisição de dados automatizados tem sido disponibilizado no mercado, mas a custos elevados. A coleta manual de dados pode ser feita com uso de diferentes equipamentos de TDR, tais como o Trase system e o Minitrase, sendo estes os mais apropriados para manejo em campo, pelas facilidades de leituras diretas da umidade. São equipamentos resistentes e apropriados para o manuseio (Figura 4). A TDR 100 é de custo mais baixo que a anterior, mas não é vendida na forma de um equipamento único, e sim, em partes separadas (TDR 100, datalogger, bateria, mostrador digital), sendo necessário ao usuário reunir essas partes em uma caixa para tornar o equipamento portátil.



Foto: Eugênio Ferreira Coelho

Figura 4. Uso de reflectômetro tipo TDR em manejo de irrigação.

Fonte: Foto: Eugênio Ferreira Coelho

Esses equipamentos demandam sondas que são conectadas aos mesmos para conduzir o sinal eletromagnético à extremidade das mesmas (circuito aberto) na profundidade do solo desejada. O sinal é refletido e o tempo com que o mesmo percorre a sonda (ida e volta) é computado, permitindo calcular a constante dielétrica do solo e por meio desta obtém-se a umidade. As sondas podem ser adquiridas do fabricante dos equipamentos ou podem ser construídas artesanalmente, geralmente com três hastes.

Há ainda outros tipos de equipamentos de TDR disponíveis no mercado, como a TDR 300, que tem preço mais acessível e é de mais fácil manuseio. Outros equipamentos de TDR funcionam com uso de barras multiplexadoras que permitem a determinação da umidade a diferentes profundidades, como a TDR da Esi-environmental sensors. Entretanto, esta apresenta a desvantagem da inserção das barras no solo e baixa durabilidade em função da limitação de uso em campo, além do fato que, uma vez inseridas, não podem ser removidas facilmente para uso em outra posição.

Os equipamentos comerciais que usam o princípio da FDR são eficientes no manuseio em campo, sendo apropriados para o manejo com leituras manuais. Entretanto, os tubos de acesso que os mesmos requerem são importados e de preço elevado, e, uma vez instalados, não podem ser removidos com facilidade, o que pode dificultar o uso, conforme o número de posições de monitoramento necessárias.

A tensão de água do solo é uma resultante de forças de adesão e coesão, cujas magnitudes dependem da tensão

superficial da água no solo, do ângulo de contato água-solo, da densidade da água, das dimensões dos poros do solo e do conteúdo de água no solo. Os medidores de tensão de água do solo são instrumentos mais acessíveis aos produtores e são muito úteis na determinação do momento da irrigação e na determinação da quantidade de água necessária na irrigação.

Os instrumentos mais utilizados para avaliação direta da tensão de água do solo são o tensiômetro, os blocos de resistência elétrica e o Irrigas. O tensiômetro permite leitura de tensão até cerca de 80 kPa. Para tensões maiores, começa a haver formação acentuada de bolhas de ar dentro da água sob vácuo, causando o processo de cavitação no sistema, o que faz o instrumento parar de funcionar. Entretanto, são adequados para a cultura da bananeira que requer níveis de umidade mais próximos do limite superior da disponibilidade de água do solo. Os tensiômetros mais utilizados são os de vacuômetro metálico tipo Bourdon (Figura 5A) e os de punção. Os de vacuômetro metálico têm esse dispositivo acoplado ao conjunto tubo de PVC e cápsula porosa; são eficientes, entretanto, a qualidade dos vacuômetros deve ser observada, pois a exposição ao tempo pode limitar a durabilidade dos mesmos. Os tensiômetros de punção (Figura 5B) não dispõem de vacuômetro acoplado, isto é, a leitura é feita por meio de um vacuômetro portátil digital ou analógico (tensímetros). A tensão de água na cápsula porosa instalada na profundidade desejada será igual à leitura do vacuômetro ou tensímetro subtraída da tensão equivalente à coluna d'água até a cápsula porosa (Equação 8).

$$T_s = L - 0,098 H_{\text{água}} \quad (8)$$

Em que:

T_s é a tensão de água na matriz do solo (kPa); L é a leitura no vacuômetro ou tensímetro (kPa); $H_{\text{água}}$ é a altura da coluna de água no tensiômetro, considerando o centro da cápsula (cm).

Foto: Eugênio Ferreira Coelho



Figura 5. Tensiômetros tipo vacuômetro (A) e de punção (B) em manejo de irrigação.

Fonte: Fotos: Eugênio Ferreira Coelho

Os blocos de resistência elétrica permitem a medida da resistência elétrica entre dois eletrodos inseridos dentro do bloco, que está relacionada à tensão de água do solo. São construídos com material poroso, geralmente uma liga a base de gesso ou do tipo matricial granular, construído por camadas de materiais granulares, gesso, tecido e/ou tela metálica (PEREIRA et al., 2006). A faixa de tensão de água do solo dos blocos

de gesso situa-se entre 150 kPa e 600 kPa e do tipo matricial granular na faixa de 10 kPa a 200 kPa (EVETT, 2007).

Outro instrumento indicador do estado da água é o Irrigas, que consiste de uma cápsula porosa conectada por um tubo flexível a uma cuba de leitura (MAROUELLI; CALBO, 2009). O sistema permite avaliar se o solo se encontra em uma tensão superior ou inferior à tensão de referência da cápsula, que corresponde à tensão de borbulhamento da mesma. Se o solo estiver úmido, a passagem de ar através da cápsula porosa é bloqueada, quando a cuba é imersa na água. Isto é, a água não entra na cuba porque o ar não sai do sistema através dos poros da cápsula. Por outro lado, quando o solo seca e a umidade diminui para abaixo da tensão de referência, a cápsula porosa torna-se permeável à passagem do ar. No mercado podem ser adquiridas cápsulas com tensões de referência de 15, 25 e 40 kPa. No caso da bananeira, pela redução aceitável da disponibilidade de água, as cápsulas de 15 e 25 kPa são as mais indicadas para a maioria das situações, sendo que a de 25 kPa é recomendada para solos com maior capacidade de retenção.

3.1.4. Posicionamento de sensores para avaliação da umidade e tensão de água do solo

Um aspecto importante a ser observado é quanto à localização dos sensores no perfil do solo. Essa localização deve estar embasada na distribuição da extração de água no volume molhado do solo, onde situa-se o sistema radicular da bananeira. Não é recomendado instalar sensores onde não há absorção de água ou onde a absorção não seja significativa.

A pesquisa tem mostrado que regiões de maior ou menor absorção de água variam, principalmente, com a distribuição de água no solo, o que depende da configuração do sistema e do manejo da irrigação, que determina a quantidade de água a ser aplicada à cultura. O posicionamento de sensores de umidade no solo tem como referência a região do sistema radicular onde a extração de água seja relevante. A instalação de sensores de tensão de água deve levar em conta, além da região de relevante extração de água, a posição da isolinha de tensão equivalente ao limite de funcionamento do sensor. Por exemplo, a isolinha de 80 kPa na zona radicular da planta limita o posicionamento de um tensiômetro. É inviável a instalação de um tensiômetro em regiões do solo onde a tensão seja superior a 80 kPa.

Na cultura da bananeira, estudos têm indicado que os locais ideais de instalação dos sensores nos sistemas que utilizam um microaspersor de 32 L h⁻¹ para quatro plantas com uma lateral entre duas fileiras de plantas, um microaspersor de 60 L h⁻¹ para quatro plantas com uma lateral entre duas fileiras de plantas e um microaspersor de 60 L h⁻¹ para duas plantas com uma lateral entre duas fileiras de plantas correspondem às regiões limitadas pelas distâncias horizontais do pseudocaule e profundidades do solo de 0,70 e 0,25 m; 0,80 e 0,25 m; 1,00 e 0,25 m, respectivamente (Figura 6). No caso específico de tensiômetros, os mesmos devem ser instalados a partir do pseudocaule da bananeira na direção da fileira de plantas até as distâncias e profundidades de 0,50 – 0,70 m e 0,25 m; 0,50 – 0,80 m e 0,25 m; 0,50 – 1,00 m e 0,10 – 0,20 m para os sistemas que utilizam um microaspersor de 32 L h⁻¹ para quatro plantas com uma lateral entre duas fileiras de plantas, um microaspersor de

60 L h⁻¹ para quatro plantas com uma lateral entre duas fileiras de plantas e um microaspersor de 60 L h⁻¹ para duas plantas com uma lateral entre duas fileiras de plantas, respectivamente.

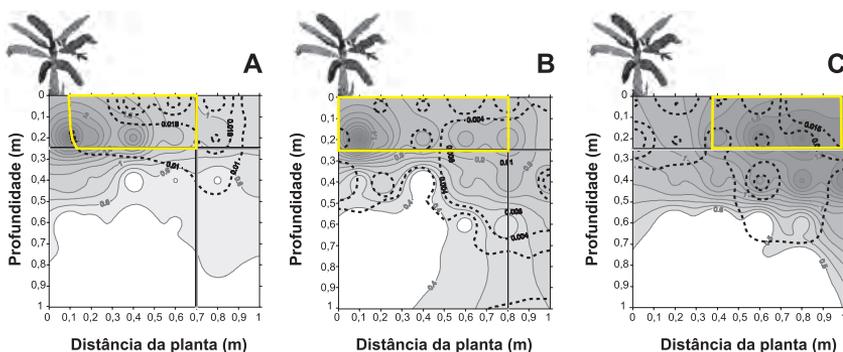


Figura 6. Região adequada para posicionamento de sensores de água no solo (delimitação em azul) em sistemas de microaspersão com um emissor de 32 L h⁻¹ para quatro plantas com uma lateral entre duas fileiras de plantas (A), um microaspersor de 60 L h⁻¹ para quatro plantas com uma lateral entre duas fileiras de plantas (B) e um microaspersor de 60 L h⁻¹ para duas plantas com uma lateral entre duas fileiras de plantas (C).

Na irrigação por gotejamento, avaliações das regiões do sistema radicular da bananeira mais adequadas ao posicionamento de sensores de água do solo em sistemas que utilizam dois, quatro e cinco emissores de 4,0 L h⁻¹ por planta, corresponderam às regiões limitadas pelas distâncias horizontais e profundidades de 0,20 e 0,40 m; 0,50 e 0,35 m; 0,55 e 0,35 m, respectivamente (Figura 7). No caso específico de tensiômetros, os mesmos devem ser instalados a partir do pseudocaule da bananeira na direção da fileira de plantas até as distâncias e profundidades de 0,20 m e 0,20 – 0,40 m; 0,50 m e 0,25 – 0,40 m; 0,30 m e 0 – 0,35 m para os sistemas que utilizam dois, quatro e disposição em faixa contínua de emissores de 4 L h⁻¹, respectivamente.

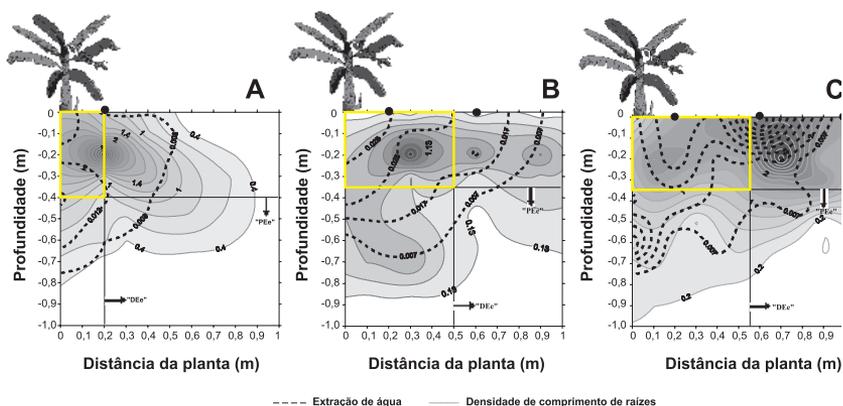


Figura 7. Região adequada para posicionamento de sensores de água no solo (delimitação em azul) em sistemas de gotejamento com dois emissores em uma linha lateral por touceira (A), com quatro emissores em uma linha lateral por touceira (B) e com cinco emissores por touceira na linha de irrigação em faixa contínua (C).

Coelho et al. (2003) estudando a frequência de aplicação de água nas zonas de extração de água do sistema radicular da bananeira irrigada por microaspersão, com um emissor de 60 L h^{-1} para quatro plantas em região semiárida do Norte de Minas, verificaram que a região de maior intensidade de extração de água do solo ocorreu até 0,70m da touceira e a profundidades até 0,50 m para frequência de irrigação de dois dias. A extração ocorreu com maior intensidade até 0,60 m da touceira a profundidades até 0,70 m para a frequência de quatro dias. Esses limites das regiões de elevada extração de água estão dentro dos apresentados para microaspersão em termos de distância do pseudocaule, com profundidades superiores, principalmente para frequência de irrigação de quatro dias, evidenciando o efeito da frequência de irrigação no posicionamento dos sensores de água do solo.

3.1.5. Instalação de sensores de água no solo em campo

A instalação dos sensores de umidade e de tensão de água no solo deve seguir as instruções dos equipamentos. É necessário, entretanto, definir o número de posições no campo para instalação. Esse número deve ser definido basicamente em função do tipo de cultura e da uniformidade do solo, isto é, cada cultura terá sua umidade ou tensão crítica e, portanto, deverá ser monitorada individualmente. As manchas uniformes de solos também deverão ser individualizadas no monitoramento. Em uma situação de solo uniforme em bananeira, pode-se instalar de duas a quatro estações na área, sendo que o posicionamento dessas estações deve ocorrer em locais representativos da área, evitando locais de cotas mais baixas onde possa concentrar água de irrigação por escoamento superficial ou em cotas mais elevadas em relação à área total. Em cada bateria deve-se instalar dois sensores: o primeiro na profundidade variando de $1/4$ a $1/3$ da profundidade máxima das raízes (ex. se a profundidade máxima for 0,60 m, a primeira profundidade será de 0,15 a 0,20 m). Considerando a profundidade efetiva do sistema radicular, pode-se também, posicionar o primeiro sensor na metade da profundidade efetiva das raízes da bananeira, ou a 0,30 m de profundidade. O segundo sensor deverá ser instalado na profundidade que corresponde à profundidade efetiva do sistema radicular e será útil na avaliação da umidade ou tensão, nessa profundidade, que dependerá do sistema de irrigação e do manejo da água. De modo geral, pode-se dizer que o primeiro sensor indicará o momento da irrigação e o segundo permitirá verificar se a irrigação está sendo bem feita, para que não haja excesso ou falta de água.

3.2. Critério com base em variáveis do estado da água na planta

A condição hídrica da planta é uma resultante de sua interação com o sistema solo-atmosfera e é fundamental para o seu desenvolvimento. As folhas representam o foco das avaliações do estado hídrico da planta por serem a interface entre a atmosfera e a planta. No caso, o critério consiste em manter o estado hídrico da planta em faixas consideradas propícias à transpiração e fotossíntese. Os indicadores do estado da água da planta de bananeira são: (i) aparência visual das folhas (qualitativo) e (ii) a manutenção do potencial hídrico das folhas dentro de faixas propícias ao desenvolvimento potencial da planta (quantitativo).

A aparência das folhas, em termos de coloração e de ângulo entre as duas faces, tem sido usada como indicador por produtores. Entretanto, nesse caso há uma tendência de se irrigar além do necessário já que o objetivo é manter as folhas verdes, com ângulo interno entre as faces da folha menor que 180°. Por outro lado, quando se observa amarelecimento das folhas e sintomas de murcha, significa que o estresse foi além do tolerado pela planta, havendo efeitos negativos no desenvolvimento da mesma. Assim, a aparência visual por si não é suficiente para o manejo da água de irrigação em termos de definir o momento e a quantidade de água a aplicar. De qualquer forma, a aparência será sempre um indicador qualitativo da situação hídrica da planta como resultado do manejo aplicado.

A avaliação do potencial hídrico das folhas da cultura da bananeira pode ser feita com o uso de discos da folha

colocados em câmara psicrométrica para medida do potencial por meio de microvoltímetro. Outros instrumentos podem ser usados para indicar o estado hídrico da planta e indiretamente o potencial hídrico, tais como medidor da condutância difusiva da folha (porômetro), termômetro infravermelho, que mede a temperatura da folha, e dendrômetro, que mede o diâmetro do pseudocaule. O conteúdo relativo de água também é um importante indicador do estado hídrico da folha. Em níveis de potenciais relativamente elevados, o conteúdo relativo de água, a temperatura da folha e a condutância difusiva são pouco sensíveis a variações do estado hídrico da planta.

A avaliação do estado hídrico da planta além de requerer equipamentos específicos e de alto custo, deve ser usada com ponderação, pois uma vez que a planta possui várias folhas, ocorre uma variabilidade de valores das variáveis fisiológicas. Além disso, essas variáveis estão sujeitas à radiação, temperatura, umidade do ar e presença de vento, que não são constantes com o tempo. O uso de critério de manejo da água de irrigação, com base no estado hídrico da planta, é de difícil acesso aos produtores pela complexidade envolvida tanto no uso dos equipamentos como na coleta de dados.

3.3. Critério com base em variáveis meteorológicas

Esse critério consiste em basicamente promover a reposição de água que é perdida pelas plantas por meio da transpiração, e pelo solo pela evaporação, ou seja, repor à cultura a evapotranspiração que fora perdida desde a última

chuva ou irrigação. A quantificação da água perdida pela ETC desde a última irrigação pode ser dada pela somatória das ETC registradas desde essa irrigação. Nesse caso, é necessário definir o momento de irrigar, o que pode ser feito de duas formas: (i) estabelecendo-se um turno de rega fixo para cada estágio de desenvolvimento da cultura, a partir da relação entre a lâmina real de água extraída do solo entre a umidade à capacidade de campo, a umidade crítica e a ETC ou (ii) por meio do balanço de água no solo, onde as irrigações devem ser realizadas quando o somatório das evapotranspirações subtraído das precipitações efetivas atingir o valor da lâmina real de água extraída do solo entre a umidade na capacidade de campo e a umidade crítica.

Para isso, é necessário o conhecimento da evapotranspiração da cultura, determinada por métodos diretos (lisimetria, parcelas experimentais) ou estimada a partir de métodos indiretos, seja por uso de evaporímetros tipo tanque classe A, ou por meio do uso de equações, que podem envolver desde dados de apenas temperatura até dados de radiação, temperatura e velocidade do vento, conforme a disponibilidade. A Tabela 5 expressa a comparação entre as equações de estimativa da ETo.

Tabela 5. Comparação entre valores calculados de ETo por diferentes equações.

Indicador de desempenho	Região úmida		Região árida	
	Desvio	Erro Padrão	Desvio	Erro Padrão
Penman	+ 16%	0.67	+ 6%	0.68
Penman (1963)	+ 14%	0.60	- 2%	0.70
Penman 1963, VPD #3	+ 20%	0.69	+ 6%	0.67

continua...

Tabela 5. Continuação.

Indicador de desempenho	Região úmida		Região árida	
	Desvio	Erro Padrão	Desvio	Erro Padrão
1972 Kimberley Penman	+ 18%	0.71	+ 6%	0.73
1982 Kimberley Penman	+ 10%	0.69	+ 3%	0.54
Businger-van Bavel	+ 32%	1.03	+ 11%	1.12
Priestley Taylor	- 3%	0.68	- 27%	1.89
FAO-Radiation	+ 22%	0.79	+ 6%	0.62
Jensen-Haise	- 18%	0.84	- 12%	1.13
Hargreaves	+ 25%	0.79	- 9%	1.17
Turc	+ 5%	0.56	- 26%	1.88
SCS Blaney-Criddle	+ 17%	1.01	- 16%	1.29
FAO Blaney-Criddle	+ 16%	0.79	0%	0.76
Thornwaite	- 4%	0.86	- 37%	2.40
Class A Pan	+ 14%	1.29	+ 21%	1.54
Christiansen	- 10%	1.12	- 6%	1.41
FAO Class A	- 5%	1.09	+ 5%	1.25

Fonte: Jensen et al. (1990)

No trabalho de comparação dos métodos de estimativa da ETo realizado por Jensen et al. (1990), as equações dos métodos com base na radiação apresentaram boas estimativas da ETo medida, sendo que as equações de Priest Taylor e Turc tiveram bom desempenho em condições úmidas. Todas as equações subestimaram a ETo medida em condições áridas. Os métodos baseados na temperatura do ar foram os de menor desempenho na estimativa da ETo medida. A equação de SCS Blaney-Criddle subestima a ETo em condições áridas e superestima em condições úmidas. A equação de Hargreaves superestimou a ETo medida em 15 a 25% em condições úmidas e subestimou a ETo em 10% em condições áridas.

O método do tanque Classe A, o de Blaney-Criddle-FAO, Radiação-FAO e Jensen-Haise (referência alfafa) são recomendados para períodos acima de cinco dias, enquanto métodos como de Hargreaves-Samani e Priestley-Taylor são recomendados para períodos acima de 10 dias (DOORENBOS; PRUITT, 1977). Portanto, estes métodos não devem ser utilizados para manejo em tempo real. Neste caso, o método combinado de Penman-Monteith segundo parametrização da FAO (ALLEN et al., 1998), considerado como padrão internacional, é o mais recomendado.

4. Métodos de manejo da água de irrigação

O atendimento dos critérios de manejo da água de irrigação, tanto os relacionados à faixa de umidade adequada à bananeira quanto às condições hídricas da planta ou ainda à reposição da ETc, será possível com uso de métodos que possam colocar tais critérios em operação em nível de campo. O grande desafio é o produtor adotar um dos critérios apresentados, uma vez que nenhum deles é simples e fácil de ser operacionalizado, por requererem informações de campo e cálculos matemáticos. De qualquer forma, o método que o produtor deverá usar será aquele condizente com sua realidade, em termos de condição cultural e disponibilidade de equipamentos para avaliar o estado da água do solo, da planta ou da atmosfera.

A seguir serão apresentados três métodos básicos de manejo da água de irrigação: (i) método do turno de rega e lâmina

de irrigação fixos, (ii) método com base no critério da faixa de disponibilidade de água do solo e (iii) método do balanço de água na zona radicular da planta.

4.1. Método do turno de rega e lâmina de irrigação fixos

Este método consiste em fixar o turno de rega (TR) dentro de um determinado período, normalmente um mês, por envolver as variáveis ETc e a LRN pela equação:

$$TR = \frac{LRN}{ETc} \quad (9)$$

Em que:

LRN é a lâmina real necessária (mm), que pode ser determinada conforme a equação (10):

$$LRN = 10 \cdot (U_{CC} - U_{PM}) \cdot \rho_b \cdot z_r \cdot f_{Am} \cdot f_r \quad (10)$$

Sendo U_{cc} e U_{PM} , respectivamente, a umidade referente ao limite superior e inferior da água disponível do solo ($g \cdot g^{-1}$); ρ_b a densidade do solo ($g \cdot cm^{-3}$); Z_r a profundidade do sistema radicular (cm); f_{Am} o fator que considera a área molhada pelo sistema de irrigação, na irrigação por aspersão, ou por superfície, a fração de área molhada é unitária ($f_{Am} = 1$); e f_r o fator de redução permissível da água disponível do solo, equivalente ao intervalo entre o limite superior de disponibilidade de água do solo e a umidade crítica do solo para a bananeira.

Para a bananeira irrigada por gotejamento ou por microaspersão, recomenda-se determinar o f_{Am} pela razão entre

a área molhada pelo sistema e a área ocupada pela planta. Nas Tabelas 6 (gotejamento) e 7 (microaspersão) são apresentados valores de f_{Am} para diferentes tipos de solos e diferentes espaçamentos da bananeira.

Tabela 6. Percentagem de área molhada para sistemas de irrigação por gotejamento com uma e duas linhas laterais para diferentes condições de solo, espaçamento de touceiras e número de emissores por touceira.

Textura do solo	Esp. entre emissores (m)	Esp. entre plantas (m)	Esp. entre fileiras (m)	Nº de Emissores por planta	Raio molhado (m)	f_{AM} (%) 1 linha lateral	f_{AM} (%) 2 linhas laterais
Arenosa	0,4	2,0	2,5	3	0,5	12	–
Arenosa	0,4	2,0	2,5	4	0,5	16	–
Arenosa	0,4	2,0	2,5	5	0,5	20	–
Arenosa	0,4	2,0	2,5	6	0,5	24	–
Arenosa	0,4	2,0	2,5	8	0,5	–	29
Arenosa	0,4	2,0	2,5	10	0,5	–	36
Arenosa	0,4	2,0	2,5	12	0,5	–	43
Arenosa	0,4	2,5	3,0	4	0,5	11	–
Arenosa	0,4	2,5	3,0	5	0,5	13	–
Arenosa	0,4	2,5	3,0	6	0,5	16	–
Arenosa	0,4	2,5	3,0	8	0,5	–	19
Arenosa	0,4	2,5	3,0	10	0,5	–	24
Arenosa	0,4	2,5	3,0	12	0,5	–	29
Arenosa	0,4	3,0	3,0	4	0,5	9	–
Arenosa	0,4	3,0	3,0	5	0,5	11	–
Arenosa	0,4	3,0	3,0	6	0,5	13	–
Arenosa	0,4	3,0	3,0	7	0,5	16	–
Arenosa	0,4	3,0	3,0	8	0,5	–	16
Arenosa	0,4	3,0	3,0	10	0,5	–	20
Arenosa	0,4	3,0	3,0	14	0,5	–	28
Média	0,7	3,0	2,5	2	0,9	25	–
Média	0,7	3,0	2,5	3	0,9	38	–
Média	0,7	3,0	2,5	4	0,9	–	45
Média	0,7	2,5	2,5	6	0,9	–	67

continua...

Tabela 6. Continuação.

Textura do solo	Esp. entre emissores (m)	Esp. entre plantas (m)	Esp. entre fileiras (m)	Nº de Emissores por planta	Raio molhado (m)	f _{AM} (%) 1 linha lateral	f _{AM} (%) 2 linhas laterais
Média	0,7	2,5	3,0	2	0,9	17	–
Média	0,7	2,5	3,0	3	0,9	25	–
Média	0,7	2,5	3,0	4	0,9	–	30
Média	0,7	2,5	3,0	6	0,9	–	45
Média	0,7	3,0	3,0	2	0,9	14	–
Média	0,7	3,0	3,0	3	0,9	21	–
Média	0,7	3,0	3,0	4	0,9	28	–
Média	0,7	3,0	3,0	6	0,9	–	37
Média	0,7	3,0	3,0	8	0,9	–	48
Argilosa	0,9	2,0	2,5	2	1,1	40	–
Argilosa	0,9	2,0	2,5	4	1,1	–	72
Argilosa	0,9	2,5	3,0	2	1,1	26	–
Argilosa	0,9	2,5	3,0	4	1,1	–	48
Argilosa	0,9	3,0	3,0	2	1,1	22	–
Argilosa	0,9	3,0	3,0	3	1,1	33	–
Argilosa	0,9	3,0	3,0	4	1,1	–	40
Argilosa	0,9	3,0	3,0	6	1,1	–	60

Tabela 7. Percentagem de área molhada para sistemas de irrigação por microaspersão com uma linha lateral para duas fileiras de plantas, em diferentes condições de solo, de espaçamento da bananeira e número de emissores por touceira.

Nº emissores por touceira	Esp. entre touceiras (m)	Esp. entre fileiras (m)	Esp. entre emissores (m)	Vazão (L h ⁻¹)	Diâmetro Molhado (m)	Percentagem de área molhada-f _{AM} (%)		
						Areia	Média	Fina
0,25	2,0	2,5	4,0	24	3,4	56	64	69
0,50	2,0	2,5	4,0	24	3,4	100	100	100
1,00	2,0	2,5	2,0	24	3,4	100	100	100
0,25	2,5	3,0	5,0	24	3,4	37	43	46
0,50	2,5	3,0	5,0	24	3,4	75	85	93

continua...

Tabela 7. Continuação.

Nº emissores por touceira	Esp. entre touceiras (m)	Esp. entre fileiras (m)	Esp. entre emissores (m)	Vazão (L h ⁻¹)	Diâmetro Molhado (m)	Percentagem de área molhada-f _{AM} (%)		
						Areia	Média	Fina
1,00	2,5	3,0	2,5	24	3,4	100	100	100
0,25	3,0	3,0	6,0	24	3,4	31	36	39
0,50	3,0	3,0	6,0	24	3,4	62	71	77
1,00	3,0	3,0	3,0	24	3,4	100	100	100
0,25	2,0	2,5	4,0	43	4,1	79	89	95
0,50	2,0	2,5	4,0	43	4,1	100	100	100
1,00	2,0	2,5	2,0	43	4,1	100	100	100
0,25	2,5	3,0	5,0	43	4,1	53	59	63
0,50	2,5	3,0	5,0	43	4,1	100	100	100
1,00	2,5	3,0	2,5	43	4,1	100	100	100
0,25	3,0	3,0	6,0	43	4,1	44	49	53
0,50	3,0	3,0	6,0	43	4,1	88	98	100
1,00	3,0	3,0	3,0	43	4,1	100	100	100
0,25	2,0	2,5	4,0	65	4,6	98	100	100
0,50	2,0	2,5	4,0	65	4,6	100	100	100
1,00	2,0	2,5	2,0	65	4,6	100	100	100
0,25	2,5	3,0	5,0	65	4,6	65	72	77
0,50	2,5	3,0	5,0	65	4,6	100	100	100
1,00	2,5	3,0	2,5	65	4,6	100	100	100
0,25	3,0	3,0	6,0	65	4,6	54	60	64
0,50	3,0	3,0	6,0	65	4,6	100	100	100
1,00	3,0	3,0	3,0	65	4,6	100	100	100
0,25	2,0	2,5	4,0	78	5,9	100	100	100
0,50	2,0	2,5	4,0	78	5,9	100	100	100
1,00	2,0	2,5	2,0	78	5,9	100	100	100
0,25	2,5	3,0	5,0	78	5,9	100	100	100
0,50	2,5	3,0	5,0	78	5,9	100	100	100
1,00	2,5	3,0	2,5	78	5,9	100	100	100
0,25	3,0	3,0	6,0	78	5,9	86	94	99
0,50	3,0	3,0	6,0	78	5,9	100	100	100
1,00	3,0	3,0	3,0	78	5,9	100	100	100

Pode-se determinar a LRN com base nas características físicas do solo e obter ETC a partir de séries históricas de dados de valores de variáveis meteorológicas que permitam o cálculo da ETo. Nesse caso, a incógnita na equação 9 fica sendo o TR. Se o valor de TR for previamente fixado, o que pode ocorrer em perímetros irrigados, conhecendo-se a ETC média mensal a partir de séries históricas, pode-se determinar a LRN a ser aplicada por evento de irrigação pela equação 10.

O método do turno de rega fixo deve ser usado em situações onde não haja dados meteorológicos disponíveis em tempo real, bem como ausência de instrumentos de medição de umidade ou potencial de água no solo. As irrigações decorrentes dos cálculos com turno de rega fixo devem ser avaliadas pelos irrigantes no sentido de verificar a funcionalidade do método, de forma que, se necessário, o TR poderá ser reduzido. As Tabelas 8 a 25 sugerem valores de LRN e de TR para latitudes até 20°, em condições de temperaturas médias diárias de 22 a 30 °C e variações de temperaturas diárias de 5-6 °C a 13-14 °C para diferentes classes texturais de solos com base na equação de Hargreaves para sistema de aspersão (Tabelas 8 a 17) e localizada (Tabelas 18 a 25) (ALLEN et al., 1998).

Exemplo: Qual a lâmina real de irrigação a ser aplicada na bananeira Prata-Anã em uma área irrigada por microaspersão, no município de Mossoró, em um solo de textura média, no mês de outubro, com temperatura média de 28,1 °C e variação entre a máxima e mínima de 11,8 °C, conforme as normais climatológicas, estando a cultura há 270 dias após o plantio? O turno de rega é diário.

Solução: Pela Tabela 21, para uma ETC de 6,26 mm dia⁻¹, solo textura média, a lâmina real necessária será de 7,0 mm.

Tabelas 8 a 17
Sistema de aspersão

Tabela 8. Lâmina real necessária (LRN) e turno de rega (TR) para bananeira irrigada por aspersão em função do mês, dia após o plantio (DAP), profundidade de raízes (Zr), textura do solo, para variação da temperatura média diurna de 5 – 6 °C para latitude 10 °S.

Mês	Período		LRN		ETc		Turno de Rega		ETc		Turno de Rega		ETc		Turno de Rega			
	DAP	Zr(cm)	Kc	Arenoso	Fraco	Argiloso	18-22°C	Arenoso	Fraco	Argiloso	22-26°C	Arenoso	Fraco	Argiloso	26-30°C	Arenoso	Fraco	Argiloso
março	30	20	0,40	0,27	0,48	0,51	1,3	3,8	6,6	7,1	1,4	3,4	6,0	6,4	1,5	3,1	5,5	5,9
	60	25	0,40	0,34	0,60	0,64	1,3	4,7	8,3	8,9	1,4	4,3	7,5	8,0	1,5	3,9	6,8	7,3
	90	30	0,45	0,41	0,72	0,77	1,4	5,0	8,8	9,5	1,6	4,6	8,0	8,6	1,7	4,2	7,3	7,8
	120	35	0,50	0,48	0,84	0,90	1,6	5,3	9,3	9,9	1,8	4,8	8,4	9,0	1,9	4,4	7,7	8,2
	150	40	0,60	0,82	1,43	1,53	1,9	5,0	8,8	9,5	2,1	4,6	8,0	8,6	2,3	4,2	7,3	7,8
	180	45	0,70	0,92	1,61	1,72	2,2	4,9	8,5	9,1	2,5	4,4	7,7	8,3	2,7	4,0	7,0	7,5
	210	50	0,85	1,20	2,10	2,25	2,7	4,5	7,8	8,3	3,0	4,0	7,1	7,6	3,3	3,7	6,4	6,9
	240	50	1,00	1,20	2,10	2,25	3,2	3,8	6,6	7,1	3,5	3,4	6,0	6,4	3,8	3,1	5,5	5,9
	270	50	1,10	1,20	2,10	2,25	3,5	3,4	6,0	6,4	3,9	3,1	5,5	5,8	4,2	2,8	5,0	5,3
	300	50	0,90	1,20	2,10	2,25	2,9	4,2	7,4	7,9	3,2	3,6	6,7	7,1	3,5	3,5	6,1	6,5
	>360	50	0,80	1,20	2,10	2,25	2,5	4,7	8,3	8,9	2,8	4,3	7,5	8,0	3,1	3,9	6,8	7,3
	abril a setembro	>360	50	1,10	1,20	2,10	2,25	3,5	3,4	6,0	6,4	3,9	3,1	5,5	5,8	4,2	2,8	5,0
30		20	0,40	0,27	0,48	0,51	1,1	4,2	7,3	7,8	1,3	3,8	6,6	7,1	1,4	3,4	6,0	6,5
60		25	0,40	0,34	0,60	0,64	1,1	5,2	9,2	9,8	1,3	4,7	8,3	8,9	1,4	4,3	7,5	8,1
90		30	0,45	0,41	0,72	0,77	1,3	5,6	9,8	10,5	1,4	5,1	8,8	9,5	1,6	4,6	8,0	8,6
120		35	0,50	0,48	0,84	0,90	1,4	5,9	10,3	11,0	1,6	5,3	9,3	9,9	1,7	4,8	8,4	9,0
150		40	0,60	0,82	1,43	1,53	1,7	5,6	9,8	10,5	1,9	5,1	8,8	9,5	2,1	4,6	8,0	8,6
180		45	0,70	0,92	1,61	1,72	2,0	5,4	9,4	10,1	2,2	4,9	8,5	9,1	2,4	4,4	7,8	8,3
210		50	0,85	1,20	2,10	2,25	2,4	4,9	8,6	9,2	2,7	4,5	7,8	8,4	3,0	4,1	7,1	7,6
240		50	1,00	1,20	2,10	2,25	2,9	4,2	7,3	7,8	3,2	3,8	6,6	7,1	3,5	3,4	6,0	6,5
270		50	1,10	1,20	2,10	2,25	3,2	3,8	6,7	7,1	3,5	3,4	6,0	6,5	3,8	3,1	5,5	5,9
300		50	1,10	1,20	2,10	2,25	3,2	3,8	6,7	7,1	3,5	3,4	6,0	6,5	3,8	3,1	5,5	5,9
360		50	0,90	1,20	2,10	2,25	2,6	4,7	8,1	8,7	2,9	4,2	7,4	7,9	3,1	3,8	6,7	7,2
>360	50	0,80	1,20	2,10	2,25	2,3	5,2	9,2	9,8	2,5	4,7	8,3	8,9	2,8	4,3	7,5	8,1	
maio a agosto	>360	50	1,10	1,20	2,10	2,25	3,2	3,8	6,7	7,1	3,5	3,4	6,0	6,5	3,8	3,1	5,5	5,9
	30	20	0,40	0,27	0,48	0,51	1,0	4,8	8,4	9,0	1,1	4,4	7,6	8,2	1,2	4,0	7,0	7,5
	60	25	0,40	0,34	0,60	0,64	1,0	6,0	10,6	11,3	1,1	5,4	9,5	10,2	1,2	5,0	8,7	9,3
	90	30	0,45	0,41	0,72	0,77	1,1	6,4	11,3	12,1	1,2	5,8	10,2	10,9	1,4	5,3	9,3	9,9
	120	35	0,50	0,48	0,84	0,90	1,2	6,8	11,8	12,7	1,4	6,1	10,7	11,4	1,5	5,6	9,7	10,4
	150	40	0,60	0,82	1,43	1,53	1,5	6,4	11,3	12,1	1,7	5,8	10,2	10,9	1,8	5,3	9,3	9,9
	180	45	0,70	0,92	1,61	1,72	1,7	6,2	10,9	11,6	1,9	5,6	9,8	10,5	2,1	5,1	9,0	9,6
	210	50	0,85	1,20	2,10	2,25	2,1	5,7	9,9	10,6	2,3	5,1	9,0	9,6	2,6	4,7	8,2	8,8
	240	50	1,00	1,20	2,10	2,25	2,5	4,8	8,4	9,0	2,8	4,4	7,6	8,2	3,0	4,0	7,0	7,5
	270	50	1,10	1,20	2,10	2,25	2,7	4,4	7,7	8,2	3,0	4,0	6,9	7,4	3,3	3,6	6,3	6,8
	300	50	1,10	1,20	2,10	2,25	2,7	4,4	7,7	8,2	3,0	4,0	6,9	7,4	3,3	3,6	6,3	6,8
	360	50	0,90	1,20	2,10	2,25	2,2	5,4	9,4	10,1	2,5	4,8	8,5	9,1	2,7	4,4	7,7	8,3
>360	50	0,80	1,20	2,10	2,25	2,0	6,0	10,6	11,3	2,2	5,4	9,5	10,2	2,4	5,0	8,7	9,3	
>360	50	1,10	1,20	2,10	2,25	2,7	4,4	7,7	8,2	3,0	4,0	6,9	7,4	3,3	3,6	6,3	6,8	

Tabela 9. Lâmina real necessária (LRN) e turno de rega (TR) para bananeira irrigada por aspersão em função do mês, dia após o plantio (DAP), profundidade de raízes (Zr), textura do solo, para variação da temperatura média diurna de 7 – 8 °C para latitude 10 °S.

Mês	DAP	Zr(cm)	Período		LRN		ETc		Turno de Rega		ETc		Turno de Rega		Turno de Rega			
			Kc	Arenoso	Francos	Argilosos	18-22°C	Arenoso	Francos	Argilosos	22-26°C	Arenoso	Francos	Argilosos	26-30°C	Arenoso	Francos	Argilosos
outubro a março	30	20	0.40	02.7	04.8	05.1	1.5	3.2	5.7	6.1	1.6	2.9	5.1	5.5	2.7	4.7	5.0	
	60	25	0.40	03.4	06.0	06.4	1.5	4.0	7.1	7.6	1.6	3.7	6.4	6.9	3.3	5.8	6.3	
	90	30	0.45	04.1	07.2	07.7	1.7	4.3	7.5	8.1	1.8	3.9	6.8	7.3	2.0	3.6	6.2	6.7
	120	35	0.50	04.8	08.4	09.0	1.9	4.5	7.9	8.5	2.1	4.1	7.2	7.7	2.3	3.7	6.5	7.0
	150	40	0.60	08.2	14.3	15.3	2.2	4.3	7.5	8.1	2.5	3.9	6.8	7.3	2.7	3.6	6.2	6.7
	180	45	0.70	09.2	16.1	17.2	2.6	4.2	7.3	7.8	2.9	3.8	6.6	7.1	3.2	3.4	6.0	6.4
	210	50	0.85	12.0	21.0	22.5	3.2	3.8	6.7	7.1	3.5	3.4	6.0	6.5	3.8	3.1	5.5	5.9
	240	50	1.00	12.0	21.0	22.5	3.7	3.2	5.7	6.1	4.1	2.9	5.1	5.5	4.5	2.7	4.7	5.0
	270	50	1.10	12.0	21.0	22.5	4.1	2.9	5.1	5.5	4.5	2.7	4.7	5.0	5.0	2.4	4.2	4.5
	300	50	0.90	12.0	21.0	22.5	3.3	3.6	6.3	6.7	3.7	3.2	5.7	6.1	4.1	3.0	5.2	5.6
abril a setembro	360	50	0.80	12.0	21.0	22.5	3.0	4.0	7.1	7.6	3.3	3.7	6.4	6.9	3.6	3.3	5.8	6.3
	>360	50	1.10	12.0	21.0	22.5	4.1	2.9	5.1	5.5	4.5	2.7	4.7	5.0	5.0	2.4	4.2	4.5
	30	20	0.40	02.7	04.8	05.1	1.3	3.6	6.3	6.7	1.5	3.2	5.7	6.1	1.6	3.0	5.2	5.5
	60	25	0.40	03.4	06.0	06.4	1.3	4.5	7.8	8.4	1.5	4.0	7.1	7.6	1.6	3.7	6.5	6.9
	90	30	0.45	04.1	07.2	07.7	1.5	4.8	8.4	9.0	1.7	4.3	7.6	8.1	1.8	3.9	6.9	7.4
	120	35	0.50	04.8	08.4	09.0	1.7	5.0	8.8	9.4	1.9	4.5	7.9	8.5	2.0	4.1	7.2	7.8
	150	40	0.60	08.2	14.3	15.3	2.0	4.8	8.4	9.0	2.2	4.3	7.6	8.1	2.4	3.9	6.9	7.4
	180	45	0.70	09.2	16.1	17.2	2.3	4.6	8.1	8.6	2.6	4.2	7.3	7.8	2.8	3.8	6.7	7.1
	210	50	0.85	12.0	21.0	22.5	2.8	4.2	7.4	7.9	3.2	3.8	6.7	7.1	3.4	3.5	6.1	6.5
	240	50	1.00	12.0	21.0	22.5	3.4	3.6	6.3	6.7	3.7	3.2	5.7	6.1	4.1	3.0	5.2	5.5
maio a agosto	270	50	1.10	12.0	21.0	22.5	3.7	3.3	5.7	6.1	4.1	2.9	5.1	5.5	4.5	2.7	4.7	5.0
	300	50	1.10	12.0	21.0	22.5	3.7	3.3	5.7	6.1	4.1	2.9	5.1	5.5	4.5	2.7	4.7	5.0
	330	50	0.90	12.0	21.0	22.5	3.0	4.0	7.0	7.5	3.3	3.6	6.3	6.7	3.7	3.3	5.7	6.2
	360	50	0.80	12.0	21.0	22.5	2.7	4.5	7.8	8.4	3.0	4.0	7.1	7.6	3.2	3.7	6.5	6.9
	>360	50	1.10	12.0	21.0	22.5	3.7	3.3	5.7	6.1	4.1	2.9	5.1	5.5	4.5	2.7	4.7	5.0
	30	20	0.40	02.7	04.8	05.1	1.2	4.1	7.2	7.7	1.3	3.7	6.5	7.0	1.4	3.4	6.0	6.4
	60	25	0.40	03.4	06.0	06.4	1.2	5.2	9.0	9.7	1.3	4.7	8.2	8.7	1.4	4.3	7.4	8.0
	90	30	0.45	04.1	07.2	07.7	1.3	5.5	9.6	10.3	1.4	5.0	8.7	9.3	1.6	4.5	7.9	8.5
	120	35	0.50	04.8	08.4	09.0	1.5	5.8	10.1	10.8	1.6	5.2	9.1	9.8	1.8	4.8	8.3	8.9
	150	40	0.60	08.2	14.3	15.3	1.7	5.5	9.6	10.3	1.9	5.0	8.7	9.3	2.1	4.5	7.9	8.5
180	45	0.70	09.2	16.1	17.2	2.0	5.3	9.3	9.9	2.3	4.8	8.4	9.0	2.5	4.4	7.7	8.2	
210	50	0.85	12.0	21.0	22.5	2.5	4.9	8.5	9.1	2.7	4.4	7.7	8.2	3.0	4.0	7.0	7.5	
240	50	1.00	12.0	21.0	22.5	2.9	4.1	7.2	7.7	3.2	3.7	6.5	7.0	3.5	3.4	6.0	6.4	
270	50	1.10	12.0	21.0	22.5	3.2	3.8	6.6	7.0	3.5	3.4	5.9	6.4	3.9	3.1	5.4	5.8	
300	50	1.10	12.0	21.0	22.5	3.2	3.8	6.6	7.0	3.5	3.4	5.9	6.4	3.9	3.1	5.4	5.8	
330	50	0.90	12.0	21.0	22.5	2.6	4.6	8.0	8.6	2.9	4.1	7.2	7.8	3.2	3.8	6.6	7.1	
360	50	0.80	12.0	21.0	22.5	2.3	5.2	9.0	9.7	2.6	4.7	8.2	8.7	2.8	4.3	7.4	8.0	
>360	50	1.10	12.0	21.0	22.5	3.2	3.8	6.6	7.0	3.5	3.4	5.9	6.4	3.9	3.1	5.4	5.8	

Tabela 10. Lâmina real necessária (LRN) e turno de rega (TR) para bananeira irrigada por aspersão em função do mês, dia após o plantio (DAP), profundidade de raízes (Zr), textura do solo, para variação da temperatura média diurna. 9 – 10 °C para latitude 10 °S.

Mês	Período		LRN		ETc		Turno de Rega		ETc		Turno de Rega		ETc		Turno de Rega			
	DAP	Zr(cm)	Kc	Arenoso	Fraco	Argiloso	18-22°C	Arenoso	Fraco	Argiloso	22-26°C	Arenoso	Fraco	Argiloso	26-30°C	Arenoso	Fraco	Argiloso
outubro a março	30	20	0,40	0,27	04,8	05,1	1,7	2,9	5,1	5,4	1,8	2,6	4,6	4,9	2,0	2,4	4,2	4,5
	60	25	0,40	0,34	06,0	06,4	1,7	3,6	6,3	6,8	1,8	3,3	5,7	6,1	2,0	3,0	5,2	5,6
	90	30	0,45	0,41	07,2	07,7	1,9	3,8	6,7	7,2	2,1	3,5	6,1	6,5	2,3	3,2	5,6	6,0
	120	35	0,50	0,48	08,4	09,0	2,1	4,0	7,1	7,6	2,3	3,7	6,4	6,9	2,5	3,3	5,8	6,2
	150	40	0,60	0,82	14,3	15,3	2,5	3,8	6,7	7,2	2,8	3,5	6,1	6,5	3,0	3,2	5,6	6,0
	180	45	0,70	0,92	16,1	17,2	2,9	3,7	6,5	7,0	3,2	3,4	5,9	6,3	3,5	3,1	5,4	5,7
	210	50	0,85	1,00	21,0	22,5	3,5	3,4	5,9	6,4	3,9	3,1	5,4	5,8	4,3	2,8	4,9	5,3
	240	50	1,00	1,20	21,0	22,5	4,2	2,9	5,1	5,4	4,6	2,6	4,6	4,9	5,0	2,4	4,2	4,5
	270	50	1,10	1,20	21,0	22,5	4,6	2,6	4,6	4,9	5,1	2,4	4,2	4,4	5,5	2,2	3,8	4,1
	300	50	1,10	1,20	21,0	22,5	4,6	2,6	4,6	4,9	5,1	2,4	4,2	4,4	5,5	2,2	3,8	4,1
	330	50	0,90	1,20	21,0	22,5	3,7	3,2	5,6	6,0	4,1	2,9	5,1	5,4	4,5	2,6	4,6	5,0
	360	50	0,80	1,20	21,0	22,5	3,3	3,6	6,3	6,8	3,7	3,3	5,7	6,1	4,0	3,0	5,2	5,6
>360	50	1,10	1,20	21,0	22,5	4,6	2,6	4,6	4,9	5,1	2,4	4,2	4,4	5,5	2,2	3,8	4,1	
abril a setembro	30	20	0,40	0,27	04,8	05,1	1,5	3,2	5,5	5,9	1,7	2,9	5,0	5,4	1,8	2,6	4,6	4,9
	60	25	0,40	0,34	06,0	06,4	1,5	4,0	6,9	7,4	1,7	3,6	6,3	6,7	1,8	3,3	5,7	6,1
	90	30	0,45	0,41	07,2	07,7	1,7	4,2	7,4	7,9	1,9	3,8	6,7	7,1	2,1	3,5	6,1	6,5
	120	35	0,50	0,48	08,4	09,0	1,9	4,4	7,8	8,3	2,1	4,0	7,0	7,5	2,3	3,7	6,4	6,9
	150	40	0,60	0,82	14,3	15,3	2,3	4,2	7,4	7,9	2,5	3,8	6,7	7,1	2,8	3,5	6,1	6,5
	180	45	0,70	0,92	16,1	17,2	2,7	4,1	7,1	7,6	2,9	3,7	6,4	6,9	3,2	3,4	5,9	6,3
	210	50	0,85	1,20	21,0	22,5	3,2	3,7	6,5	7,0	3,6	3,4	5,9	6,3	3,9	3,1	5,4	5,8
	240	50	1,00	1,20	21,0	22,5	3,8	3,2	5,5	5,9	4,2	2,9	5,0	5,4	4,6	2,6	4,6	4,9
	270	50	1,10	1,20	21,0	22,5	4,2	2,9	5,0	5,4	4,6	2,6	4,5	4,9	5,1	2,4	4,2	4,5
	300	50	1,10	1,20	21,0	22,5	4,2	2,9	5,0	5,4	4,6	2,6	4,5	4,9	5,1	2,4	4,2	4,5
	330	50	0,90	1,20	21,0	22,5	3,4	3,5	6,2	6,6	3,8	3,2	5,6	6,0	4,1	2,9	5,1	5,4
	360	50	0,80	1,20	21,0	22,5	3,0	4,0	6,9	7,4	3,4	3,6	6,3	6,7	3,7	3,3	5,7	6,1
>360	50	1,10	1,20	21,0	22,5	4,2	2,9	5,0	5,4	4,6	2,6	4,5	4,9	5,1	2,4	4,2	4,5	
maio a agosto	30	20	0,40	0,27	04,8	05,1	1,3	3,7	6,4	6,9	1,4	3,3	5,8	6,2	1,6	3,0	5,3	5,7
	60	25	0,40	0,34	06,0	06,4	1,3	4,6	8,0	8,6	1,4	4,1	7,2	7,8	1,6	3,8	6,6	7,1
	90	30	0,45	0,41	07,2	07,7	1,5	4,9	8,5	9,1	1,6	4,4	7,7	8,3	1,8	4,0	7,1	7,6
	120	35	0,50	0,48	08,4	09,0	1,6	5,1	9,0	9,6	1,6	4,6	8,1	8,7	2,0	4,2	7,4	7,9
	150	40	0,60	0,82	14,3	15,3	2,0	4,9	8,5	9,1	2,2	4,4	7,7	8,3	2,4	4,0	7,1	7,6
	180	45	0,70	0,92	16,1	17,2	2,3	4,7	8,2	8,8	2,5	4,3	7,5	8,0	2,8	3,9	6,8	7,3
	210	50	0,85	1,20	21,0	22,5	2,8	4,3	7,5	8,1	3,1	3,9	6,8	7,3	3,4	3,6	6,2	6,7
	240	50	1,00	1,20	21,0	22,5	3,3	3,7	6,4	6,9	3,6	3,3	5,8	6,2	4,0	3,0	5,3	5,7
	270	50	1,10	1,20	21,0	22,5	3,6	3,3	5,8	6,2	4,0	3,0	5,3	5,6	4,4	2,8	4,8	5,2
	300	50	1,10	1,20	21,0	22,5	3,6	3,3	5,8	6,2	4,0	3,0	5,3	5,6	4,4	2,8	4,8	5,2
	330	50	0,90	1,20	21,0	22,5	3,0	4,1	7,1	7,6	3,3	3,7	6,4	6,9	3,6	3,4	5,9	6,3
	360	50	0,80	1,20	21,0	22,5	2,6	4,6	8,0	8,6	2,9	4,1	7,2	7,8	3,2	3,8	6,6	7,1
>360	50	1,10	1,20	21,0	22,5	3,6	3,3	5,8	6,2	4,0	3,0	5,3	5,6	4,4	2,8	4,8	5,2	

Tabela 11. Lâmina real necessária (LRN) e turno de rega (TR) para bananeira irrigada por aspersão em função do mês, dia após o plantio (DAP), profundidade de raízes (Zr), textura do solo, para variação da temperatura média diurna. 11 – 12 °C para latitude 10 °S.

Mês	Período	LRN		ETc		Turno de Rega		ETc		Turno de Rega		ETc		Turno de Rega				
		DAP	Zr(cm)	Kc	Arenoso	Francos	Argiloso	18-22°C	Arenoso	Francos	Argiloso	22-26°C	Arenoso	Francos	Argiloso	26-30°C	Arenoso	Francos
outubro a março	30	20	0,40	0,27	04,8	05,1	1,8	2,6	4,6	4,9	2,0	2,4	4,1	4,4	2,2	2,2	3,8	4,1
	60	25	0,40	0,34	06,0	06,4	1,8	3,3	5,7	6,1	2,0	3,0	5,2	5,6	2,2	2,7	4,7	5,1
	90	30	0,45	0,41	07,2	07,7	2,1	3,5	6,1	6,5	2,3	3,2	5,5	5,9	2,5	2,9	5,0	5,4
	120	35	0,50	0,48	08,4	09,0	2,3	3,7	6,4	6,9	2,5	3,3	5,8	6,2	2,8	3,0	5,3	5,7
	150	40	0,60	0,82	14,3	15,3	2,8	3,5	6,1	6,5	3,0	3,2	5,5	5,9	3,3	2,9	5,0	5,4
	180	45	0,70	0,92	16,1	17,2	3,2	3,4	5,9	6,3	3,5	3,0	5,3	5,7	3,9	2,8	4,9	5,2
	210	50	0,85	1,20	21,0	22,5	3,9	3,1	5,4	5,8	4,3	2,8	4,9	5,2	4,7	2,5	4,5	4,8
	240	50	1,00	1,20	21,0	22,5	4,6	2,6	4,6	4,9	5,1	2,4	4,1	4,4	5,5	2,2	3,8	4,1
	270	50	1,10	1,20	21,0	22,5	5,0	2,4	4,2	4,5	5,6	2,2	3,8	4,0	6,1	2,0	3,4	3,7
	300	50	1,10	1,20	21,0	22,5	5,0	2,4	4,2	4,5	5,6	2,2	3,8	4,0	6,1	2,0	3,4	3,7
	330	50	0,90	1,20	21,0	22,5	4,1	2,9	5,1	5,5	4,6	2,6	4,6	4,9	5,0	2,4	4,2	4,5
	360	50	0,80	1,20	21,0	22,5	3,7	3,3	5,7	6,1	4,1	3,0	5,2	5,6	4,4	2,7	4,7	5,1
>360	50	1,10	1,20	21,0	22,5	5,0	2,4	4,2	4,5	5,6	2,2	3,8	4,0	6,1	2,0	3,4	3,7	
abril a setembro	30	20	0,40	0,27	04,8	05,1	1,7	2,9	5,0	5,4	1,8	2,6	4,6	4,9	2,0	2,4	4,2	4,5
	60	25	0,40	0,34	06,0	06,4	1,7	3,6	6,3	6,8	1,8	3,3	5,7	6,1	2,0	3,0	5,2	5,6
	90	30	0,45	0,41	07,2	07,7	1,9	3,8	6,7	7,2	2,1	3,5	6,1	6,5	2,3	3,2	5,6	6,0
	120	35	0,50	0,48	08,4	09,0	2,1	4,0	7,1	7,6	2,3	3,7	6,4	6,8	2,5	3,3	5,8	6,3
	150	40	0,60	0,82	14,3	15,3	2,5	3,8	6,7	7,2	2,8	3,5	6,1	6,5	3,0	3,2	5,6	6,0
	180	45	0,70	0,92	16,1	17,2	2,9	3,7	6,5	6,9	3,2	3,4	5,9	6,3	3,5	3,1	5,4	5,7
	210	50	0,85	1,20	21,0	22,5	3,5	3,4	5,9	6,4	3,9	3,1	5,4	5,8	4,3	2,8	4,9	5,3
	240	50	1,00	1,20	21,0	22,5	4,2	2,9	5,0	5,4	4,6	2,6	4,6	4,9	5,0	2,4	4,2	4,5
	270	50	1,10	1,20	21,0	22,5	4,6	2,6	4,6	4,9	5,1	2,4	4,2	4,4	5,5	2,2	3,8	4,1
	300	50	1,10	1,20	21,0	22,5	4,6	2,6	4,6	4,9	5,1	2,4	4,2	4,4	5,5	2,2	3,8	4,1
	330	50	0,90	1,20	21,0	22,5	3,8	3,2	5,6	6,0	4,1	2,9	5,1	5,4	4,5	2,6	4,6	5,0
	360	50	0,80	1,20	21,0	22,5	3,3	3,6	6,3	6,8	3,7	3,3	5,7	6,1	4,0	3,0	5,2	5,6
>360	50	1,10	1,20	21,0	22,5	4,6	2,6	4,6	4,9	5,1	2,4	4,2	4,4	5,5	2,2	3,8	4,1	
maio a agosto	30	20	0,40	0,27	04,8	05,1	1,4	3,3	5,8	6,3	1,6	3,0	5,3	5,7	1,7	2,8	4,8	5,2
	60	25	0,40	0,34	06,0	06,4	1,4	4,2	7,3	7,8	1,6	3,8	6,6	7,1	1,7	3,4	6,0	6,5
	90	30	0,45	0,41	07,2	07,7	1,6	4,4	7,8	8,3	1,8	4,0	7,0	7,5	2,0	3,7	6,4	6,9
	120	35	0,50	0,48	08,4	09,0	1,8	4,7	8,2	8,8	2,0	4,2	7,4	7,9	2,2	3,9	6,8	7,2
	150	40	0,60	0,82	14,3	15,3	2,2	4,4	7,8	8,3	2,4	4,0	7,0	7,5	2,6	3,7	6,4	6,9
	180	45	0,70	0,92	16,1	17,2	2,5	4,3	7,5	8,0	2,8	3,9	6,8	7,3	3,0	3,5	6,2	6,7
	210	50	0,85	1,20	21,0	22,5	3,1	3,9	6,9	7,4	3,4	3,5	6,2	6,7	3,7	3,2	5,7	6,1
	240	50	1,00	1,20	21,0	22,5	3,6	3,3	5,8	6,3	4,0	3,0	5,3	5,7	4,4	2,8	4,8	5,2
	270	50	1,10	1,20	21,0	22,5	4,0	3,0	5,3	5,7	4,4	2,7	4,8	5,1	4,8	2,5	4,4	4,7
	300	50	1,10	1,20	21,0	22,5	4,0	3,0	5,3	5,7	4,4	2,7	4,8	5,1	4,8	2,5	4,4	4,7
	330	50	0,90	1,20	21,0	22,5	3,2	3,7	6,5	7,0	3,6	3,4	5,9	6,3	3,9	3,1	5,4	5,7
	360	50	0,80	1,20	21,0	22,5	2,9	4,2	7,3	7,8	3,2	3,8	6,6	7,1	3,5	3,4	6,0	6,5
>360	50	1,10	1,20	21,0	22,5	4,0	3,0	5,3	5,7	4,4	2,7	4,8	5,1	4,8	2,5	4,4	4,7	

Tabela 12. Lâmina real necessária (LRN) e turno de rega (TR) para bananeira irrigada por aspersão em função do mês, dia após o plantio (DAP), profundidade de raízes (Zr), textura do solo, para variação da temperatura média diurna. 13 – 14 °C para latitude 10 °S.

Mês	Período		LRN		ETc		Turno de Rega		ETc		Turno de Rega		ETc		Turno de Rega			
	DAP	Zr (cm)	Kc	Arenoso	Fraco	Argiloso	18-22°C	Arenoso	Fraco	Argiloso	22-26°C	Arenoso	Fraco	Argiloso	26-30°C	Arenoso	Fraco	Argiloso
março	30	20	0,40	02,7	04,8	05,1	2,0	2,4	4,2	4,5	2,2	2,2	3,8	4,1	2,4	2,0	3,5	3,7
	60	25	0,40	03,4	06,0	06,4	2,0	3,0	5,3	5,7	2,2	2,7	4,8	5,1	2,4	2,5	4,4	4,7
	90	30	0,45	04,1	07,2	07,2	2,2	3,2	5,6	6,0	2,5	2,9	5,1	5,5	2,7	2,7	4,6	5,0
	120	35	0,50	04,8	08,4	09,0	2,5	3,4	5,9	6,3	2,7	3,1	5,4	5,7	3,0	2,8	4,9	5,2
	150	40	0,60	08,2	14,3	15,3	3,0	3,2	5,6	6,0	3,3	2,9	5,1	5,5	3,6	2,7	4,6	5,0
	180	45	0,70	09,2	16,1	17,2	3,5	3,1	5,4	5,8	3,8	2,8	4,9	5,3	4,2	2,6	4,5	4,8
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	4,2	2,8	5,0	5,3	4,7	2,6	4,5	4,8	5,1	2,3	4,1	4,4
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	5,0	2,4	4,2	4,5	5,5	2,2	3,8	4,1	6,0	2,0	3,5	3,7
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	5,5	2,2	3,8	4,1	6,0	2,0	3,5	3,7	6,6	1,8	3,2	3,4
	300	50	1,10	12,0	21,0	22,5	5,5	2,2	3,8	4,1	6,0	2,0	3,5	3,7	6,6	1,8	3,2	3,4
	330	50	0,90	12,0	21,0	22,5	4,5	2,7	4,7	5,0	4,9	2,4	4,3	4,6	5,4	2,2	3,9	4,2
	abril a setembro	360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	4,0	3,0	5,3	5,7	4,4	2,7	4,4	4,8	5,1	4,8	2,5
>360		50	1,10	12,0	21,0	22,5	5,5	2,2	3,8	4,1	6,0	2,0	3,5	3,7	6,6	1,8	3,2	3,4
30		20	0,40	02,7	04,8	05,1	1,8	2,7	4,7	5,0	2,0	2,4	4,5	4,5	2,2	2,2	3,9	4,1
60		25	0,40	03,4	06,0	06,4	1,8	3,3	5,8	6,2	2,0	3,0	5,3	5,6	2,2	2,8	4,8	5,2
90		30	0,45	04,1	07,2	07,2	2,0	3,5	6,2	6,7	2,2	3,2	5,6	6,0	2,5	2,9	5,1	5,5
120		35	0,50	04,8	08,4	09,0	2,3	3,7	6,5	7,0	2,5	3,4	5,9	6,3	2,7	3,1	5,4	5,8
150		40	0,60	08,2	14,3	15,3	2,7	3,5	6,2	6,7	3,0	3,2	5,6	6,0	3,3	2,9	5,1	5,5
180		45	0,70	09,2	16,1	17,2	3,2	3,4	6,0	6,4	3,5	3,1	5,4	5,8	3,8	2,8	5,0	5,3
210		50	0,85	12,0	21,0	22,5	3,8	3,1	5,5	5,9	4,2	2,8	5,0	5,3	4,6	2,6	4,5	4,9
240		50	1,00	12,0	21,0	22,5	4,5	2,7	4,7	5,0	5,0	2,4	4,2	4,5	5,5	2,2	3,9	4,1
270		50	1,10	12,0	21,0	22,5	5,0	2,4	4,2	4,5	5,5	2,2	3,8	4,1	6,0	2,0	3,5	3,8
maio a agosto		300	50	1,10	12,0	21,0	22,5	5,0	2,4	4,2	4,5	5,5	2,2	3,8	4,1	6,0	2,0	3,5
	330	50	0,90	12,0	21,0	22,5	4,1	3,0	5,2	5,5	4,5	2,7	4,7	5,0	4,9	2,4	4,3	4,6
	360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	3,6	3,3	5,8	6,2	4,0	3,0	5,3	5,6	4,4	2,8	4,8	5,2
	>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	5,0	2,4	4,2	4,5	5,5	2,2	3,8	4,1	6,0	2,0	3,5	3,8
	30	20	0,40	02,7	04,8	05,1	1,6	3,1	5,4	5,8	1,7	2,8	4,9	5,2	1,9	2,5	4,4	4,8
	60	25	0,40	03,4	06,0	06,4	1,6	3,8	6,7	7,2	1,7	3,5	6,1	6,5	1,9	3,2	5,6	5,9
	90	30	0,45	04,1	07,2	07,2	1,8	4,1	7,2	7,7	1,9	3,7	6,5	6,9	2,1	3,4	5,9	6,3
	120	35	0,50	04,8	08,4	09,0	2,0	4,3	7,5	8,1	2,2	3,9	6,8	7,3	2,4	3,6	6,2	6,7
	150	40	0,60	08,2	14,3	15,3	2,3	4,1	7,2	7,7	2,6	3,7	6,5	6,9	2,8	3,4	5,9	6,3
	180	45	0,70	09,2	16,1	17,2	2,7	4,0	6,9	7,4	3,0	3,6	6,2	6,7	3,3	3,3	5,7	6,1
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	3,3	3,6	6,3	6,8	3,7	3,3	5,7	6,1	4,0	3,0	5,2	5,6
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	3,9	3,1	5,4	5,8	4,3	2,8	4,9	5,2	4,7	2,5	4,4	4,8
270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,3	2,8	4,9	5,2	4,8	2,5	4,4	4,7	5,2	2,3	4,0	4,3	
300	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,3	2,8	4,9	5,2	4,8	2,5	4,4	4,7	5,2	2,3	4,0	4,3	
330	50	0,90	12,0	21,0	22,5	3,5	3,4	6,0	6,4	3,9	3,1	5,4	5,8	4,3	2,8	4,9	5,3	
360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	3,1	3,8	6,7	7,2	3,5	3,5	6,1	6,5	3,8	3,2	5,6	5,9	
>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,3	2,8	4,9	5,2	4,8	2,5	4,4	4,7	5,2	2,3	4,0	4,3	

Tabela 13. Lâmina real necessária (LRN) e turno de rega (TR) para bananeira irrigada por aspersão em função do mês, dia após o plantio (DAP), profundidade de raízes (Zr), textura do solo, para variação da temperatura média diurna. 5 – 6 °C para latitude 20 °S.

Mês	Período	LRN		ETc		Turno de Rega		ETc		Turno de Rega		ETc		Turno de Rega				
		Kc	Zr(cm)	18-22°C	22-26°C	Fraco	Argiloso	Fraco	Argiloso	26-30°C	Fraco	Argiloso	Fraco	Argiloso				
outubro a março	30	20	0.40	02.7	04.8	05.1	1.3	3.7	6.5	6.9	1.4	3.3	5.8	6.3	1.6	3.1	5.3	5.7
	60	25	0.40	03.4	06.0	06.4	1.3	4.6	8.1	8.6	1.4	4.2	7.3	7.8	1.6	3.8	6.7	7.2
	90	30	0.45	04.1	07.2	07.7	1.5	4.9	8.6	9.2	1.6	4.5	7.8	8.4	1.8	4.1	7.1	7.6
	120	35	0.50	04.8	08.4	09.0	1.6	5.2	9.0	9.7	1.8	4.7	8.2	8.8	2.0	4.3	7.5	8.0
	150	40	0.60	08.2	14.3	15.3	2.0	4.9	8.6	9.2	2.2	4.5	7.8	8.4	2.4	4.1	7.1	7.6
	180	45	0.70	09.2	16.1	17.2	2.3	4.7	8.3	8.9	2.5	4.3	7.5	8.1	2.7	3.9	6.9	7.4
	210	50	0.85	12.0	21.0	22.5	2.8	4.3	7.6	8.1	3.1	3.9	6.9	7.4	3.3	3.6	6.3	6.7
	240	50	1.00	12.0	21.0	22.5	3.3	3.7	6.5	6.9	3.6	3.3	5.8	6.3	3.9	3.1	5.3	5.7
	270	50	1.10	12.0	21.0	22.5	3.6	3.4	5.9	6.3	4.0	3.0	5.3	5.7	4.3	2.8	4.9	5.2
	300	50	1.10	12.0	21.0	22.5	3.6	3.4	5.9	6.3	4.0	3.0	5.3	5.7	4.3	2.8	4.9	5.2
abril a setembro	300	50	0.90	12.0	21.0	22.5	2.9	4.1	7.2	7.7	3.2	3.7	6.5	7.0	3.5	3.4	5.9	6.4
	360	50	0.80	12.0	21.0	22.5	2.6	4.6	8.1	8.6	2.9	4.2	7.3	7.8	3.1	3.8	6.7	7.2
	>360	50	1.10	12.0	21.0	22.5	3.6	3.4	5.9	6.3	4.0	3.0	5.3	5.7	4.3	2.8	4.9	5.2
	30	20	0.40	02.7	04.8	05.1	1.1	4.6	8.0	8.5	1.2	4.1	7.2	7.7	1.3	3.8	6.6	7.1
	60	25	0.40	03.4	06.0	06.4	1.1	5.7	10.0	10.7	1.2	5.1	9.0	9.6	1.3	4.7	8.2	8.8
	90	30	0.45	04.1	07.2	07.7	1.2	6.1	10.6	11.4	1.3	5.5	9.6	10.3	1.4	5.0	8.8	9.4
	120	35	0.50	04.8	08.4	09.0	1.3	6.4	11.2	12.0	1.5	5.8	10.1	10.8	1.6	5.3	9.2	9.9
	150	40	0.60	08.2	14.3	15.3	1.6	6.1	10.6	11.4	1.8	5.5	9.6	10.3	1.9	5.0	8.8	9.4
	180	45	0.70	09.2	16.1	17.2	1.8	5.9	10.3	11.0	2.0	5.3	9.3	9.9	2.2	4.8	8.5	9.1
	210	50	0.85	12.0	21.0	22.5	2.2	5.4	9.4	10.1	2.5	4.8	8.5	9.1	2.7	4.4	7.8	8.3
maio a agosto	240	50	1.00	12.0	21.0	22.5	2.6	4.6	8.0	8.5	2.9	4.1	7.2	7.7	3.2	3.8	6.6	7.1
	270	50	1.10	12.0	21.0	22.5	2.9	4.1	7.2	7.8	3.2	3.7	6.5	7.0	3.5	3.4	6.0	6.4
	300	50	1.10	12.0	21.0	22.5	2.9	4.1	7.2	7.8	3.2	3.7	6.5	7.0	3.5	3.4	6.0	6.4
	330	50	0.90	12.0	21.0	22.5	2.4	5.1	8.9	9.5	2.6	4.6	8.0	8.6	2.9	4.2	7.3	7.9
	360	50	0.80	12.0	21.0	22.5	2.1	5.7	10.0	10.7	2.3	5.1	9.0	9.6	2.5	4.7	8.2	8.8
	>360	50	1.10	12.0	21.0	22.5	2.9	4.1	7.2	7.8	3.2	3.7	6.5	7.0	3.5	3.4	6.0	6.4
	30	20	0.40	02.7	04.8	05.1	0.8	5.7	9.9	10.6	0.9	5.1	8.9	9.5	1.0	4.6	8.1	8.7
	60	25	0.40	03.4	06.0	06.4	0.8	7.1	12.4	13.3	0.9	6.3	11.1	11.9	1.0	5.8	10.1	10.9
	90	30	0.45	04.1	07.2	07.7	1.0	7.5	13.2	14.1	1.1	6.8	11.9	12.7	1.2	6.2	10.8	11.6
	120	35	0.50	04.8	08.4	09.0	1.1	7.9	13.9	14.9	1.2	7.1	12.4	13.3	1.3	6.5	11.4	12.2
150	40	0.60	08.2	14.3	15.3	1.3	7.5	13.2	14.1	1.4	6.8	11.9	12.7	1.6	6.2	10.8	11.6	
180	45	0.70	09.2	16.1	17.2	1.5	7.3	12.7	13.6	1.7	6.5	11.4	12.2	1.8	6.0	10.4	11.2	
210	50	0.85	12.0	21.0	22.5	1.8	6.7	11.6	12.5	2.0	6.0	10.5	11.2	2.2	5.5	9.5	10.2	
240	50	1.00	12.0	21.0	22.5	2.1	5.7	9.9	10.6	2.4	5.1	8.9	9.5	2.6	4.6	8.1	8.7	
270	50	1.10	12.0	21.0	22.5	2.3	5.1	9.0	9.6	2.6	4.6	8.1	8.7	2.8	4.2	7.4	7.9	
300	50	1.10	12.0	21.0	22.5	2.3	5.1	9.0	9.6	2.6	4.6	8.1	8.7	2.8	4.2	7.4	7.9	
330	50	0.90	12.0	21.0	22.5	1.9	6.3	11.0	11.8	2.1	5.6	9.9	10.6	2.3	5.2	9.0	9.7	
360	50	0.80	12.0	21.0	22.5	1.7	7.1	12.4	13.3	1.9	6.3	11.1	11.9	2.1	5.8	10.1	10.9	
>360	50	1.10	12.0	21.0	22.5	2.3	5.1	9.0	9.6	2.6	4.6	8.1	8.7	2.8	4.2	7.4	7.9	

Tabela 14. Lâmina real necessária (LRN) e turno de rega (TR) para bananeira irrigada por aspersão em função do mês, dia após o plantio (DAP), profundidade de raízes (Zr), textura do solo, para variação da temperatura média diurna. 7 – 8 °C para latitude 20 °S.

Mês	Período	LRN		ETc		Turno de Rega		ETc		Turno de Rega		ETc		Turno de Rega				
		Kc	Zr (cm)	Fraco	Argiloso	18-22°C	22-26°C	Fraco	Argiloso	26-30°C	Fraco	Argiloso	Fraco	Argiloso				
outubro a março	30	0,40	02,7	04,8	05,1	1,5	3,2	5,5	5,9	1,7	2,9	5,0	5,3	2,6	4,5	4,9		
	60	0,25	04,0	03,4	06,0	1,5	4,0	6,9	7,4	1,7	3,6	6,2	6,7	1,8	3,2	5,7	6,1	
	90	0,30	04,5	04,1	07,2	1,7	4,2	7,4	7,9	1,9	3,8	6,7	7,1	2,1	3,5	6,1	6,5	
	120	0,35	0,50	04,8	08,4	09,0	1,9	4,4	7,7	8,3	2,1	4,0	7,0	7,5	2,3	3,6	6,4	6,8
	150	0,40	0,60	08,2	14,3	15,3	2,3	4,2	7,4	7,9	2,5	3,8	6,7	7,1	2,8	3,5	6,1	6,5
	180	0,45	0,70	09,2	16,1	17,2	2,7	4,1	7,1	7,6	2,9	3,7	6,4	6,9	3,2	3,3	5,8	6,3
	210	0,50	0,85	12,0	21,0	22,5	3,2	3,7	6,5	7,0	3,6	3,4	5,9	6,3	3,9	3,1	5,3	5,7
	240	0,50	1,00	12,0	21,0	22,5	3,8	3,2	5,5	5,9	4,2	2,9	5,0	5,3	4,6	2,6	4,5	4,9
	270	0,50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,2	2,9	5,0	5,4	4,6	2,6	4,5	4,9	5,1	2,4	4,1	4,4
	300	0,50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,2	2,9	5,0	5,4	4,6	2,6	4,5	4,9	5,1	2,4	4,1	4,4
abril a setembro	330	0,50	0,90	12,0	21,0	22,5	3,4	3,5	6,1	6,6	3,8	3,2	5,5	5,9	4,2	2,9	5,1	5,4
	360	0,50	0,80	12,0	21,0	22,5	3,0	4,0	6,9	7,4	3,4	3,6	6,2	6,7	3,7	3,2	5,7	6,1
	>360	0,50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,2	2,9	5,0	5,4	4,6	2,6	4,5	4,9	5,1	2,4	4,1	4,4
	30	0,40	02,7	04,8	05,1	1,2	3,9	6,8	7,3	1,4	3,5	6,2	6,6	1,5	3,2	5,6	6,0	
	60	0,25	04,0	03,4	06,0	1,2	4,9	8,5	9,1	1,4	4,4	7,7	8,3	1,5	4,0	7,0	7,5	
	90	0,30	04,5	04,1	07,2	1,4	5,2	9,1	9,8	1,5	4,7	8,2	8,8	1,7	4,3	7,5	8,0	
	120	0,35	0,50	04,8	08,4	09,0	1,5	5,5	9,6	10,2	1,7	4,9	8,6	9,2	1,9	4,5	7,9	8,4
	150	0,40	0,60	08,2	14,3	15,3	1,8	5,2	9,1	9,8	2,0	4,7	8,2	8,8	2,2	4,3	7,5	8,0
	180	0,45	0,70	09,2	16,1	17,2	2,2	5,0	8,8	9,4	2,4	4,5	7,9	8,5	2,6	4,1	7,2	7,7
	210	0,50	0,85	12,0	21,0	22,5	2,6	4,6	8,0	8,6	2,9	4,1	7,2	7,8	3,2	3,8	6,6	7,1
maio a agosto	240	0,50	1,00	12,0	21,0	22,5	3,1	3,9	6,8	7,3	3,4	3,5	6,2	6,6	3,7	3,2	5,6	6,0
	270	0,50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,4	3,5	6,2	6,7	3,7	3,2	5,6	6,0	4,1	2,9	5,1	5,5
	300	0,50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,4	3,5	6,2	6,7	3,7	3,2	5,6	6,0	4,1	2,9	5,1	5,5
	330	0,50	0,90	12,0	21,0	22,5	2,8	4,3	7,6	8,1	3,1	3,9	6,8	7,3	3,4	3,6	6,3	6,7
	360	0,50	0,80	12,0	21,0	22,5	2,5	4,9	8,5	9,1	2,7	4,4	7,7	8,3	3,0	4,0	7,0	7,5
	>360	0,50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,4	3,5	6,2	6,7	3,7	3,2	5,6	6,0	4,1	2,9	5,1	5,5
	30	0,40	02,7	04,8	05,1	1,0	4,8	8,5	9,1	1,1	4,4	7,7	8,2	1,2	4,0	7,0	7,5	
	60	0,25	04,0	03,4	06,0	1,0	6,1	10,6	11,3	1,1	5,5	9,6	10,3	1,2	5,0	8,7	9,3	
	90	0,30	04,5	04,1	07,2	1,1	6,5	11,3	12,1	1,2	5,8	10,2	11,0	1,4	5,3	9,3	10,0	
	120	0,35	0,50	04,8	08,4	09,0	1,2	6,8	11,9	12,7	1,4	6,1	10,7	11,5	1,5	5,6	9,8	10,5
150	0,40	0,60	08,2	14,3	15,3	1,5	6,5	11,3	12,1	1,6	5,8	10,2	11,0	1,8	5,3	9,3	10,0	
180	0,45	0,70	09,2	16,1	17,2	1,7	6,2	10,9	11,7	1,9	5,6	9,9	10,6	2,1	5,1	9,0	9,6	
210	0,50	0,85	12,0	21,0	22,5	2,1	5,7	10,0	10,7	2,3	5,2	9,0	9,7	2,6	4,7	8,2	8,8	
240	0,50	1,00	12,0	21,0	22,5	2,5	4,8	8,5	9,1	2,7	4,4	7,7	8,2	3,0	4,0	7,0	7,5	
270	0,50	1,10	12,0	21,0	22,5	2,7	4,4	7,7	8,3	3,0	4,0	7,0	7,5	3,3	3,6	6,3	6,8	
300	0,50	1,10	12,0	21,0	22,5	2,7	4,4	7,7	8,3	3,0	4,0	7,0	7,5	3,3	3,6	6,3	6,8	
330	0,50	0,90	12,0	21,0	22,5	2,2	5,4	9,4	10,1	2,5	4,9	8,5	9,1	2,7	4,4	7,7	8,3	
360	0,50	0,80	12,0	21,0	22,5	2,0	6,1	10,6	11,3	2,2	5,5	9,6	10,3	2,4	5,0	8,7	9,3	
>360	0,50	1,10	12,0	21,0	22,5	2,7	4,4	7,7	8,3	3,0	4,0	7,0	7,5	3,3	3,6	6,3	6,8	

Tabela 15. Lâmina real necessária (LRN) e turno de rega (TR) para bananeira irrigada por aspersão em função do mês, dia após o plantio (DAP), profundidade de raízes (Zr), textura do solo, para variação da temperatura média diurna. 9 – 10 °C para latitude 20 °S.

Mês	Período		LRN		ETc		Turno de Rega		ETc		Turno de Rega		ETc		Turno de Rega			
	DAP	Zr(cm)	Kc	Arenoso	Francos	Argiloso	18-22°C	Arenoso	Francos	Argiloso	22-26°C	Arenoso	Francos	Argiloso	26-30°C	Arenoso	Francos	
outubro a março	30	20	0,40	02,7	04,8	05,1	1,7	2,8	4,9	5,3	1,9	2,5	4,4	4,8	2,1	2,3	4,1	4,3
	60	25	0,40	03,4	06,0	06,4	1,7	3,5	6,1	6,6	1,9	3,2	5,6	6,0	2,1	2,9	5,1	5,4
	90	30	0,45	04,1	07,2	07,7	1,9	3,7	6,5	7,0	2,1	3,4	5,9	6,4	2,3	3,1	5,4	5,8
	120	35	0,50	04,8	08,4	09,0	2,1	3,9	6,9	7,4	2,4	3,6	6,2	6,7	2,6	3,2	5,7	6,1
	150	40	0,60	08,2	14,3	15,3	2,6	3,7	6,5	7,0	2,8	3,4	5,9	6,4	3,1	3,1	5,4	5,8
	180	45	0,70	09,2	16,1	17,2	3,0	3,6	6,3	6,8	3,3	3,3	5,7	6,1	3,6	3,0	5,2	5,6
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	3,6	3,3	5,8	6,2	4,0	3,0	5,2	5,6	4,4	2,7	4,8	5,1
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	4,3	2,8	4,9	5,3	4,7	2,5	4,4	4,8	5,2	2,3	4,1	4,3
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,7	2,6	4,5	4,8	5,2	2,3	4,0	4,3	5,7	2,1	3,7	4,0
	300	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,7	2,6	4,5	4,8	5,2	2,3	4,0	4,3	5,7	2,1	3,7	4,0
	330	50	0,90	12,0	21,0	22,5	3,9	3,1	5,5	5,8	4,3	2,8	4,9	5,3	4,7	2,6	4,5	4,8
	>360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	3,4	3,5	6,1	6,6	3,8	3,2	5,6	6,0	4,1	2,9	5,1	5,4
abril a setembro	>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,7	2,6	4,5	4,8	5,2	2,3	4,0	4,3	5,7	2,1	3,7	4,0
	30	20	0,40	02,7	04,8	05,1	1,4	3,5	6,1	6,5	1,5	3,1	5,5	5,9	1,7	2,9	5,0	5,3
	60	25	0,40	03,4	06,0	06,4	1,4	4,3	7,6	8,1	1,5	3,9	6,8	7,3	1,7	3,6	6,2	6,7
	90	30	0,45	04,1	07,2	07,7	1,6	4,6	8,1	8,7	1,7	4,2	7,3	7,8	1,9	3,8	6,7	7,1
	120	35	0,50	04,8	08,4	09,0	1,7	4,9	8,5	9,1	1,9	4,4	7,7	8,2	2,1	4,0	7,0	7,5
	150	40	0,60	08,2	14,3	15,3	2,1	4,6	8,1	8,7	2,3	4,2	7,3	7,8	2,5	3,8	6,7	7,1
	180	45	0,70	09,2	16,1	17,2	2,4	4,5	7,8	8,4	2,7	4,0	7,0	7,5	2,9	3,7	6,4	6,9
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	2,9	4,1	7,1	7,7	3,3	3,7	6,4	6,9	3,6	3,4	5,9	6,3
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	3,5	3,5	6,1	6,5	3,8	3,1	5,5	5,9	4,2	2,9	5,0	5,3
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,8	3,2	5,5	5,9	4,2	2,8	5,0	5,3	4,6	2,6	4,5	4,9
	300	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,8	3,2	5,5	5,9	4,2	2,8	5,0	5,3	4,6	2,6	4,5	4,9
	330	50	0,90	12,0	21,0	22,5	3,1	3,9	6,7	7,2	3,5	3,5	6,1	6,5	3,8	3,2	5,5	5,9
>360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	2,8	4,3	7,6	8,1	3,1	3,9	6,8	7,3	3,4	3,6	6,2	6,7	
maio a agosto	>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,8	3,2	5,5	5,9	4,2	2,8	5,0	5,3	4,6	2,6	4,5	4,9
	30	20	0,40	02,7	04,8	05,1	1,1	4,3	7,5	8,1	1,2	3,9	6,8	7,3	1,4	3,5	6,2	6,7
	60	25	0,40	03,4	06,0	06,4	1,1	5,4	9,4	10,1	1,2	4,9	8,5	9,1	1,4	4,4	7,8	8,3
	90	30	0,45	04,1	07,2	07,7	1,3	5,7	10,0	10,7	1,4	5,2	9,1	9,7	1,5	4,7	8,3	8,9
	120	35	0,50	04,8	08,4	09,0	1,4	6,0	10,5	11,3	1,5	5,4	9,5	10,2	1,7	5,0	8,7	9,3
	150	40	0,60	08,2	14,3	15,3	1,7	5,7	10,0	10,7	1,9	5,2	9,1	9,7	2,0	4,7	8,3	8,9
	180	45	0,70	09,2	16,1	17,2	2,0	5,5	9,7	10,4	2,2	5,0	8,7	9,4	2,4	4,6	8,0	8,6
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	2,4	5,1	8,8	9,5	2,6	4,6	8,0	8,6	2,9	4,2	7,3	7,8
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	2,8	4,3	7,5	8,1	3,1	3,9	6,8	7,3	3,4	3,5	6,2	6,7
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,1	3,9	6,8	7,3	3,4	3,5	6,2	6,6	3,7	3,2	5,6	6,0
	300	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,1	3,9	6,8	7,3	3,4	3,5	6,2	6,6	3,7	3,2	5,6	6,0
	330	50	0,90	12,0	21,0	22,5	2,5	4,8	8,4	9,0	2,8	4,3	7,5	8,1	3,0	3,9	6,9	7,4
>360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	2,2	5,4	9,4	10,1	2,5	4,9	8,5	9,1	2,7	4,4	7,8	8,3	
>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,1	3,9	6,8	7,3	3,4	3,5	6,2	6,6	3,7	3,2	5,6	6,0	

Tabela 16. Lâmina real necessária (LRN) e turno de rega em dias (TR) para bananeira irrigada por aspersão em função do mês, dia após o plantio (DAP), profundidade de raízes (Zr), textura do solo, para variação da temperatura média diurna. 11 – 12 °C para latitude 20 °S.

Mês	Período		LRN		ETc		Turno de Rega		ETc		Turno de Rega		ETc		Turno de Rega			
	DAP	Zr(cm)	Kc	Arenoso	Fraco	Argiloso	18-22°C	Arenoso	Fraco	Argiloso	22-26°C	Arenoso	Fraco	Argiloso	26-30°C	Arenoso	Fraco	Argiloso
outubro a março	30	20	0,40	02,7	04,8	05,1	1,9	2,5	4,5	4,8	2,1	2,3	4,0	4,3	2,3	2,1	3,7	4,0
	60	25	0,40	03,4	06,0	06,4	1,9	3,2	5,6	6,0	2,1	2,9	5,0	5,4	2,3	2,6	4,6	4,9
	90	30	0,45	04,1	07,2	07,7	2,1	3,4	5,9	6,4	2,3	3,1	5,4	5,8	2,6	2,8	4,9	5,3
	120	35	0,50	04,8	08,4	09,0	2,4	3,6	6,2	6,7	2,6	3,2	5,7	6,1	2,8	3,0	5,2	5,5
	150	40	0,60	08,2	14,3	15,3	2,8	3,4	5,9	6,4	3,1	3,1	5,4	5,8	3,4	2,8	4,9	5,3
	180	45	0,70	09,2	16,1	17,2	3,3	3,3	5,7	6,1	3,6	3,0	5,2	5,6	4,0	2,7	4,7	5,1
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	4,0	3,0	5,2	5,6	4,4	2,7	4,8	5,1	4,8	2,5	4,3	4,7
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	4,7	2,5	4,5	4,8	5,2	2,3	4,0	4,3	5,7	2,1	3,7	4,0
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	5,2	2,3	4,1	4,3	5,7	2,1	3,7	3,9	6,3	1,9	3,4	3,6
	300	50	0,90	12,0	21,0	22,5	4,2	2,8	5,0	5,3	4,7	2,6	4,5	4,8	5,1	2,3	4,1	4,4
	330	50	0,80	12,0	21,0	22,5	3,8	3,2	5,6	6,0	4,2	2,9	5,0	5,4	4,6	2,6	4,6	4,4
	>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	5,2	2,3	4,1	4,3	5,7	2,1	3,7	3,9	6,3	1,9	3,4	3,6
abril a setembro	30	20	0,40	02,7	04,8	05,1	1,5	3,1	5,5	5,9	1,7	2,8	5,0	5,3	1,8	2,6	4,6	4,9
	60	25	0,40	03,4	06,0	06,4	1,5	3,9	6,9	7,4	1,7	3,6	6,2	6,7	1,8	3,3	5,7	6,1
	90	30	0,45	04,1	07,2	07,7	1,7	4,2	7,3	7,8	1,9	3,8	6,6	7,1	2,1	3,5	6,1	6,5
	120	35	0,50	04,8	08,4	09,0	1,9	4,4	7,7	8,2	2,1	4,0	7,0	7,5	2,3	3,7	6,4	6,8
	150	40	0,60	08,2	14,3	15,3	2,3	4,2	7,3	7,8	2,5	3,8	6,6	7,1	2,8	3,5	6,1	6,5
	180	45	0,70	09,2	16,1	17,2	2,7	4,0	7,1	7,6	3,0	3,7	6,4	6,9	3,2	3,4	5,9	6,3
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	3,3	3,7	6,5	6,9	3,6	3,3	5,9	6,3	3,9	3,1	5,4	5,8
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	3,8	3,1	5,5	5,9	4,2	2,8	5,0	5,3	4,6	2,6	4,6	4,9
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,2	2,9	5,0	5,3	4,6	2,6	4,5	4,9	5,1	2,4	4,2	4,4
	300	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,2	2,9	5,0	5,3	4,6	2,6	4,5	4,9	5,1	2,4	4,2	4,4
	330	50	0,90	12,0	21,0	22,5	3,4	3,5	6,1	6,5	3,8	3,2	5,5	5,9	4,1	2,9	5,1	5,4
	360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	3,1	3,9	6,9	7,4	3,4	3,6	6,2	6,7	3,7	3,3	5,7	6,1
>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,2	2,9	5,0	5,3	4,6	2,6	4,5	4,9	5,1	2,4	4,2	4,4	
maio a agosto	30	20	0,40	02,7	04,8	05,1	1,2	3,9	6,8	7,3	1,4	3,5	6,2	6,6	1,5	3,2	5,6	6,0
	60	25	0,40	03,4	06,0	06,4	1,2	4,9	8,5	9,2	1,4	4,4	7,7	8,3	1,5	4,0	7,1	7,6
	90	30	0,45	04,1	07,2	07,7	1,4	5,2	9,1	9,8	1,5	4,7	8,3	8,8	1,7	4,3	7,5	8,1
	120	35	0,50	04,8	08,4	09,0	1,5	5,5	9,6	10,3	1,7	5,0	8,7	9,3	1,9	4,5	7,9	8,5
	150	40	0,60	08,2	14,3	15,3	1,8	5,2	9,1	9,8	2,0	4,7	8,3	8,8	2,2	4,3	7,5	8,1
	180	45	0,70	09,2	16,1	17,2	2,1	5,0	8,8	9,4	2,4	4,5	8,0	8,5	2,6	4,1	7,3	7,8
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	2,6	4,6	8,0	8,6	2,9	4,2	7,3	7,8	3,2	3,8	6,6	7,1
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	3,1	3,9	6,8	7,3	3,4	3,5	6,2	6,6	3,7	3,2	5,6	6,0
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,4	3,6	6,2	6,7	3,7	3,2	5,6	6,0	4,1	2,9	5,1	5,5
	300	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,4	3,6	6,2	6,7	3,7	3,2	5,6	6,0	4,1	2,9	5,1	5,5
	330	50	0,90	12,0	21,0	22,5	2,8	4,3	7,6	8,1	3,1	3,9	6,9	7,4	3,3	3,6	6,3	6,7
	360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	2,5	4,9	8,5	9,2	2,7	4,4	7,7	8,3	3,0	4,0	7,1	7,6
>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,4	3,6	6,2	6,7	3,7	3,2	5,6	6,0	4,1	2,9	5,1	5,5	

Tabela 17. Lâmina real necessária (LRN) e turno de rega em dias (TR) para bananeira irrigada por aspersão em função do mês, dia após o plantio (DAP), profundidade de raízes (Zr), textura do solo, para variação da temperatura média diurna. 13 – 14 °C para 20 °S.

Mês	DAP	Zr(cm)	LRN		ETc		Turno de Rega		ETc		Turno de Rega		ETc		Turno de Rega			
			Arenoso	Francos	Argiloso	18-22°C	Arenoso	Francos	Argiloso	22-26°C	Arenoso	Francos	Argiloso	26-30°C	Arenoso	Francos	Argiloso	
outubro a março	30	20	0,40	02,7	04,8	05,1	2,0	2,4	4,1	4,4	2,3	2,1	3,7	4,0	2,5	1,9	3,4	3,6
	60	25	0,40	03,4	06,0	06,4	2,0	2,9	5,2	5,5	2,3	2,7	4,7	5,0	2,5	2,4	4,3	4,6
	90	30	0,45	04,1	07,2	07,7	2,3	3,1	5,5	5,9	2,5	2,8	5,0	5,3	2,8	2,6	4,5	4,9
	120	35	0,50	04,8	08,4	09,0	2,5	3,3	5,8	6,2	2,8	3,0	5,2	5,6	3,1	2,7	4,8	5,1
	150	40	0,60	08,2	14,3	15,3	3,1	3,1	5,5	5,9	3,4	2,8	5,0	5,3	3,7	2,6	4,5	4,9
	180	45	0,70	09,2	16,1	17,2	3,6	3,0	5,3	5,7	3,9	2,7	4,8	5,1	4,3	2,5	4,4	4,7
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	4,3	2,8	4,9	5,2	4,8	2,5	4,4	4,7	5,2	2,3	4,0	4,3
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	5,1	2,4	4,1	4,4	5,6	2,1	3,7	4,0	6,2	1,9	3,4	3,6
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	5,6	2,1	3,7	4,0	6,2	1,9	3,4	3,6	6,8	1,8	3,1	3,3
	300	50	1,10	12,0	21,0	22,5	5,6	2,1	3,7	4,0	6,2	1,9	3,4	3,6	6,8	1,8	3,1	3,3
	330	50	0,90	12,0	21,0	22,5	4,6	2,6	4,6	4,9	5,1	2,4	4,1	4,4	5,6	2,2	3,8	4,0
	360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	4,1	2,9	5,2	5,5	4,5	2,7	4,7	5,0	4,9	2,4	4,3	4,6
>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	5,6	2,1	3,7	4,0	6,2	1,9	3,4	3,6	6,8	1,8	3,1	3,3	
abril a setembro	30	20	0,40	02,7	04,8	05,1	1,7	2,9	5,1	5,4	1,8	2,6	4,6	4,9	2,0	2,4	4,2	4,5
	60	25	0,40	03,4	06,0	06,4	1,7	3,6	6,4	6,8	1,8	3,3	5,7	6,1	2,0	3,0	5,2	5,6
	90	30	0,45	04,1	07,2	07,7	1,9	3,9	6,8	7,3	2,1	3,5	6,1	6,5	2,3	3,2	5,6	6,0
	120	35	0,50	04,8	08,4	09,0	2,1	4,1	7,1	7,6	2,3	3,7	6,4	6,9	2,5	3,3	5,9	6,3
	150	40	0,60	08,2	14,3	15,3	2,5	3,9	6,8	7,3	2,8	3,5	6,1	6,5	3,0	3,2	5,6	6,0
	180	45	0,70	09,2	16,1	17,2	2,9	3,7	6,5	7,0	3,2	3,4	5,9	6,3	3,5	3,1	5,4	5,8
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	3,5	3,4	6,0	6,4	3,9	3,1	5,4	5,8	4,3	2,8	4,9	5,3
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	4,1	2,9	5,1	5,4	4,6	2,6	4,6	4,9	5,0	2,4	4,2	4,5
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,5	2,6	4,6	4,9	5,0	2,4	4,2	4,5	5,5	2,2	3,8	4,1
	300	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,5	2,6	4,6	4,9	5,0	2,4	4,2	4,5	5,5	2,2	3,8	4,1
	330	50	0,90	12,0	21,0	22,5	3,7	3,2	5,6	6,0	4,1	2,9	5,1	5,5	4,5	2,7	4,7	5,0
	360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	3,3	3,6	6,4	6,8	3,7	3,3	5,7	6,1	4,0	3,0	5,2	5,6
>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,5	2,6	4,6	4,9	5,0	2,4	4,2	4,5	5,5	2,2	3,8	4,1	
maio a agosto	30	20	0,40	02,7	04,8	05,1	1,3	3,6	6,3	6,8	1,5	3,3	5,7	6,1	1,6	3,0	5,2	5,6
	60	25	0,40	03,4	06,0	06,4	1,3	4,5	7,9	8,5	1,5	4,1	7,1	7,6	1,6	3,7	6,5	7,0
	90	30	0,45	04,1	07,2	07,7	1,5	4,8	8,4	9,0	1,7	4,3	7,6	8,1	1,8	4,0	6,9	7,4
	120	35	0,50	04,8	08,4	09,0	1,7	5,1	8,8	9,5	1,8	4,6	8,0	8,6	2,0	4,2	7,3	7,8
	150	40	0,60	08,2	14,3	15,3	2,0	4,8	8,4	9,0	2,2	4,3	7,6	8,1	2,4	4,0	6,9	7,4
	180	45	0,70	09,2	16,1	17,2	2,3	4,6	8,1	8,7	2,6	4,2	7,3	7,9	2,8	3,8	6,7	7,2
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	2,8	4,2	7,4	8,0	3,1	3,8	6,7	7,2	3,4	3,5	6,1	6,6
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	3,3	3,6	6,3	6,8	3,7	3,3	5,7	6,1	4,0	3,0	5,2	5,6
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,7	3,3	5,7	6,2	4,1	3,0	5,2	5,6	4,4	2,7	4,7	5,1
	300	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,7	3,3	5,7	6,2	4,1	3,0	5,2	5,6	4,4	2,7	4,7	5,1
	330	50	0,90	12,0	21,0	22,5	3,0	4,0	7,0	7,5	3,3	3,6	6,3	6,8	3,6	3,3	5,8	6,2
	360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	2,7	4,5	7,9	8,5	2,9	4,1	7,1	7,6	3,2	3,7	6,5	7,0
>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,7	3,3	5,7	6,2	4,1	3,0	5,2	5,6	4,4	2,7	4,7	5,1	

Tabelas 18 a 25
Sistema de irrigação localizada

Tabela 18. Lâmina real necessária (LRN) em milímetros a ser aplicada conforme o turno de rega (1, 2 e 3 dias) para bananeira sob irrigação localizada em função do mês, dia após o plantio (DAP), profundidade de raízes (Zr), textura do solo, para variação da temperatura média diurna. 5-6° para latitude 10°S.

Mês	Período	LRN(mm)			E _{Tc}			Arenoso			Franco			Argiloso			E _{Tc}			Arenoso			Franco			Argiloso												
		DAP	Zr(cm)	Kc	Aren	Fran	Argi	22-26°C	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	26-30°C	1	2	3	1	2	3	1	2	3								
outubro a março	30	20	0,40	2,7	4,8	5,1	1,4	1,4	2,7	-	1,6	3,2	4,8	1,3	2,6	3,8	1,5	1,4	2,7	-	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1						
	60	25	0,40	3,4	6,0	6,4	1,4	1,7	3,4	-	1,5	3,0	4,5	1,3	2,6	3,8	1,5	1,4	2,7	-	1,5	3,0	4,5	1,6	3,2	4,8	1,5	3,0	4,5	1,6	3,2	4,8						
	90	30	0,45	4,1	7,2	7,7	1,6	1,4	2,7	-	1,4	2,9	4,3	1,5	3,1	4,6	1,7	1,7	3,4	-	1,8	3,6	5,4	1,9	3,8	5,8	1,8	3,6	5,4	1,9	3,8	5,8						
	120	35	0,50	4,8	8,4	9,0	1,8	1,6	3,2	-	1,7	3,4	5,0	1,8	3,6	5,4	1,9	2,4	4,8	-	2,1	4,2	6,3	1,8	3,6	5,4	2,1	4,2	6,3	1,8	3,6	5,4						
	150	40	0,60	8,2	14,3	15,3	2,1	2,0	4,1	6,1	2,0	4,1	6,1	2,2	4,4	6,6	2,3	2,0	4,1	6,1	2,4	4,8	7,1	2,2	4,4	6,6	2,4	4,8	7,1	2,2	4,4	6,6						
	180	45	0,70	9,2	16,1	17,2	2,5	2,3	4,6	6,9	2,3	4,6	6,9	2,5	4,9	7,4	2,7	3,1	6,1	9,2	2,7	5,4	8,0	2,9	5,7	8,6	2,7	5,4	8,0	2,9	5,7	8,6						
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	3,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	2,8	5,6	8,4	3,3	3,0	6,0	9,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	3,3	6,0	9,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6			
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	3,5	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	3,8	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	3,8	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3		
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,9	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	4,2	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,2	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5		
	300	50	0,90	12,0	21,0	22,5	3,2	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,5	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	3,5	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6		
360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	2,8	3,0	6,0	9,0	2,6	5,3	7,9	2,8	5,6	8,4	3,1	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,1	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6						
>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,9	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	4,2	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,2	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5			
abril a setembro	30	20	0,40	2,7	4,8	5,1	1,3	1,4	2,7	-	1,2	2,4	3,6	1,3	2,6	3,8	1,4	1,4	2,7	-	1,6	3,2	4,8	1,3	2,6	3,8	1,6	3,2	4,8	1,3	2,6	3,8						
	60	25	0,40	3,4	6,0	6,4	1,3	1,1	2,3	-	1,2	2,4	3,6	1,3	2,6	3,8	1,4	1,7	3,4	-	1,5	3,0	4,5	1,3	2,6	3,8	1,4	2,7	3,4	5,1	6,8	8,4	10,1	11,8	13,5			
	90	30	0,45	4,1	7,2	7,7	1,4	1,4	2,7	-	1,4	2,9	4,3	1,5	3,1	4,6	1,6	1,4	2,7	-	1,4	2,9	4,3	1,5	3,1	4,6	1,6	3,2	4,8	6,4	8,0	9,6	11,2	12,8	14,4			
	120	35	0,50	4,8	8,4	9,0	1,6	1,6	3,2	-	1,7	3,4	5,0	1,5	3,0	4,5	1,7	1,6	3,2	-	1,7	3,4	5,0	1,8	3,6	5,4	1,7	3,4	5,0	1,8	3,6	5,4	1,7	3,4	5,0	1,8	3,6	5,4
	150	40	0,60	8,2	14,3	15,3	1,9	2,0	4,1	6,1	1,8	3,6	5,4	1,9	3,8	5,7	2,1	2,0	4,1	6,1	2,0	4,1	6,1	2,0	4,1	6,1	2,2	4,4	6,6	8,8	11,0	13,2	15,4	17,6	19,8			
	180	45	0,70	9,2	16,1	17,2	2,2	2,3	4,6	6,9	2,3	4,6	6,9	2,2	4,3	6,5	2,4	2,3	4,6	6,9	2,3	4,6	6,9	2,3	4,6	6,9	2,5	4,9	7,4	9,9	12,4	14,9	17,4	19,9	22,4			
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	2,7	3,0	6,0	9,0	2,6	5,3	7,9	2,8	5,6	8,4	3,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0			
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	3,5	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	3,5	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	3,8	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3		
	300	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,5	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	3,8	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,2	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5		
	360	50	0,90	12,0	21,0	22,5	2,9	3,0	6,0	9,0	2,8	5,6	8,4	3,1	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0			
>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,5	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	3,8	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,2	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5			
maio a agosto	30	20	0,40	2,7	4,8	5,1	1,1	1,4	2,7	-	1,2	2,4	3,6	1,0	2,1	3,1	1,2	1,4	2,7	-	1,2	2,4	3,6	1,3	2,6	3,8	1,2	2,4	3,6	1,3	2,6	3,8						
	60	25	0,40	3,4	6,0	6,4	1,1	1,1	2,3	-	1,2	2,4	3,6	1,1	2,1	3,2	1,2	1,4	2,7	-	1,2	2,4	3,6	1,3	2,6	3,8	1,2	2,4	3,6	1,3	2,6	3,8						
	90	30	0,45	4,1	7,2	7,7	1,2	1,4	2,7	-	1,2	2,4	3,6	1,3	2,6	3,8	1,4	1,4	2,7	-	1,4	2,9	4,3	1,3	2,6	3,8	1,4	2,7	3,4	5,1	6,8	8,4	10,1	11,8	13,5			
	120	35	0,50	4,8	8,4	9,0	1,4	1,6	3,2	-	1,4	2,8	4,2	1,3	2,6	3,8	1,5	1,6	3,2	-	1,4	2,8	4,2	1,5	3,0	4,5	1,6	3,2	4,8	6,4	8,0	9,6	11,2	12,8	14,4			
	150	40	0,60	8,2	14,3	15,3	1,7	1,6	3,2	4,9	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1	1,8	1,6	3,2	4,9	1,8	3,6	5,4	1,9	3,8	5,7	1,8	3,6	5,4	1,9	3,8	5,7						
	180	45	0,70	9,2	16,1	17,2	1,9	1,8	3,7	5,5	2,0	4,0	6,0	2,0	3,8	5,7	2,1	2,3	4,6	6,9	2,0	4,0	6,0	2,0	3,8	5,7	2,3	4,6	6,9	2,0	4,0	6,0	2,0	3,8	5,7			
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	2,3	2,4	4,8	7,2	2,3	4,7	7,0	2,3	4,5	6,8	2,6	2,4	4,8	7,2	2,6	5,3	7,9	2,5	5,0	7,5	2,6	5,3	7,9	2,5	5,0	7,5						
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	2,8	3,0	6,0	9,0	2,6	5,3	7,9	2,8	5,6	8,4	3,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0			
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,3	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,3	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,3	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	
	300	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,3	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,3	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,3	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	
360	50	0,90	12,0	21,0	22,5	2,5	2,4	4,8	7,2	2,6	5,3	7,9	2,5	5,0	7,5	2,7	2,7	5,4	8,0	2,7	5,4	8,0	2,7	5,4	8,0	2,8	5,7	8,6	11,5	14,4	17,3	20,2	23,1	26,0				
>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,3	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,3	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,3	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6		

Tabela 19. Lâmina real necessária (LRN) em milímetros a ser aplicada conforme o turno de rega (1, 2 e 3 dias) para bananeira sob irrigação localizada em função do mês, dia após o plantio (DAP), profundidade de raízes (Zr), textura do solo, para variação da temperatura média diurna 7-8º para latitude 10ºS.

Mês	Período DAP	Zr (cm)	LRN(mm)			Etc 22-26°C	Arenoso			Franco			Argiloso			Etc 26-30°C	Arenoso			Franco			Argiloso													
			Aren	Fran	Argi		1	2	3	1	2	3	1	2	3		1	2	3	1	2	3	1	2	3											
março	30	20	0,40	2,7	4,8	5,1	1,6	1,4	2,7	-	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1	1,8	1,7	3,4	-	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1				
	60	25	0,40	3,4	6,0	6,4	1,6	1,7	3,4	-	1,5	3,0	4,5	1,6	3,2	4,8	1,8	1,7	3,4	-	2,0	4,0	6,0	1,6	3,2	4,8	2,0	4,0	6,0	1,6	3,2	4,8				
	90	30	0,45	4,1	7,2	7,7	1,8	2,1	4,1	-	1,8	3,6	5,4	1,9	3,8	5,8	2,0	2,1	4,1	-	1,8	3,6	5,4	1,9	3,8	5,8	1,8	3,6	5,4	1,9	3,8	5,8				
	120	35	0,50	4,8	8,4	9,0	2,1	2,4	4,8	-	2,1	4,2	6,3	2,2	4,5	6,7	2,3	2,4	4,8	-	2,1	4,2	6,3	2,2	4,5	6,7	2,1	4,2	6,3	2,2	4,5	6,7				
	150	40	0,60	8,2	14,3	15,3	2,5	2,7	5,4	8,2	2,4	4,8	7,1	2,6	5,1	7,7	2,7	2,7	5,4	8,2	2,9	5,7	8,6	2,6	5,1	7,7	2,9	5,7	8,6	2,6	5,1	7,7				
	180	45	0,70	9,2	16,1	17,2	2,9	3,1	6,1	9,2	2,7	5,4	8,0	2,9	5,7	8,6	3,2	3,1	6,1	9,2	3,2	6,4	9,6	3,4	6,9	10,3	3,2	6,4	9,6	3,4	6,9	10,3				
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	3,5	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	3,8	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3				
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	4,5	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,5	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5				
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,5	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	5,0	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	4,5	9,0	13,5	5,0	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	4,5	9,0	13,5
	300	50	0,90	12,0	21,0	22,5	3,7	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	4,1	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3				
360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	3,3	3,0	6,0	9,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	3,6	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	3,6	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	
>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,5	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	5,0	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	4,5	9,0	13,5	5,0	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	4,5	9,0	13,5	
abril a setembro	30	20	0,40	2,7	4,8	5,1	1,5	1,4	2,7	-	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1	1,6	1,4	2,7	-	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1				
	60	25	0,40	3,4	6,0	6,4	1,5	1,7	3,4	-	1,5	3,0	4,5	1,6	3,2	4,8	1,6	1,7	3,4	-	1,5	3,0	4,5	1,6	3,2	4,8	1,5	3,0	4,5	1,6	3,2	4,8				
	90	30	0,45	4,1	7,2	7,7	1,7	2,1	4,1	-	1,8	3,6	5,4	1,5	3,1	4,6	1,8	2,1	4,1	-	1,8	3,6	5,4	1,9	3,8	5,8	1,8	3,6	5,4	1,9	3,8	5,8				
	120	35	0,50	4,8	8,4	9,0	1,9	1,6	3,2	-	1,7	3,4	5,0	1,8	3,6	5,4	2,0	2,4	4,8	-	2,1	4,2	6,3	2,2	4,5	6,7	2,1	4,2	6,3	2,2	4,5	6,7				
	150	40	0,60	8,2	14,3	15,3	2,2	2,0	4,1	6,1	2,4	4,8	7,1	2,2	4,4	6,6	2,4	2,7	5,4	8,2	2,4	4,8	7,1	2,6	5,1	7,7	2,4	4,8	7,1	2,6	5,1	7,7				
	180	45	0,70	9,2	16,1	17,2	2,6	2,3	4,6	6,9	2,7	5,4	8,0	2,5	4,9	7,4	2,8	3,1	6,1	9,2	2,7	5,4	8,0	2,9	5,7	8,6	2,7	5,4	8,0	2,9	5,7	8,6				
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	3,2	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,4	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	3,7	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	4,1	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,1	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	4,5	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,5	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5
	300	50	0,90	12,0	21,0	22,5	3,3	3,0	6,0	9,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	3,7	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	3,7	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3
360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	3,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	2,8	5,6	8,4	3,2	3,0	6,0	9,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	3,0	6,0	9,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6		
>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,1	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	4,5	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,5	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	
maio a agosto	30	20	0,40	2,7	4,8	5,1	1,3	1,4	2,7	-	1,2	2,4	3,6	1,3	2,6	3,8	1,4	1,4	2,7	-	1,6	3,2	4,8	1,3	2,6	3,8	1,6	3,2	4,8	1,3	2,6	3,8				
	60	25	0,40	3,4	6,0	6,4	1,3	1,1	2,3	-	1,2	2,4	3,6	1,3	2,6	3,8	1,4	1,7	3,4	-	1,5	3,0	4,5	1,3	2,6	3,8	1,5	3,0	4,5	1,3	2,6	3,8				
	90	30	0,45	4,1	7,2	7,7	1,4	1,4	2,7	-	1,4	2,9	4,3	1,5	3,1	4,6	1,6	1,4	2,7	-	1,4	2,9	4,3	1,5	3,1	4,6	1,4	2,9	4,3	1,5	3,1	4,6				
	120	35	0,50	4,8	8,4	9,0	1,6	1,6	3,2	-	1,7	3,4	5,0	1,5	3,0	4,5	1,8	1,6	3,2	-	1,7	3,4	5,0	1,8	3,6	5,4	1,7	3,4	5,0	1,8	3,6	5,4				
	150	40	0,60	8,2	14,3	15,3	1,9	2,0	4,1	6,1	2,0	4,1	6,1	1,9	3,8	5,7	2,1	2,0	4,1	6,1	2,0	4,1	6,1	2,0	4,1	6,1	2,0	4,1	6,1	2,0	4,1	6,1	2,0	4,1	6,1	
	180	45	0,70	9,2	16,1	17,2	2,3	2,3	4,6	6,9	2,2	4,3	6,5	2,2	4,3	6,5	2,5	2,3	4,6	6,9	2,3	4,6	6,9	2,3	4,6	6,9	2,3	4,6	6,9	2,3	4,6	6,9	2,3	4,6	6,9	
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	2,7	3,0	6,0	9,0	2,6	5,3	7,9	2,8	5,6	8,4	3,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	3,2	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,5	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,5	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	3,9	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	3,9	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3
	300	50	0,90	12,0	21,0	22,5	3,5	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	3,9	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	3,9	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3
360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	2,9	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	2,8	5,6	8,4	3,2	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0		
>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,5	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	3,9	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	3,9	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	

Tabela 20. Lâmina real necessária (LRN) em milímetros a ser aplicada conforme o turno de rega (1, 2 e 3 dias) para bananeira sob irrigação localizada em função do mês, dia após o plantio (DAP), profundidade de raízes (Zr), textura do solo, para variação da temperatura média diurna 9-10° para latitude 10°S.

Mês	Período	LRN(mm)			Etc			Arenoso			Franco			Argiloso			Etc			Arenoso			Franco			Argiloso											
		DAP	Zr(cm)	Kc	Aren	Fran	Argi	22-26°C	1	2	3	1	2	3	1	2	3	26-30°C	1	2	3	1	2	3	1	2	3										
outubro a março	30	20	0,40	2,7	4,8	5,1	1,8	2,7	5,5	-	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1	2,0	2,7	5,5	-	2,4	4,8	7,2	1,7	3,4	5,1	2,0	2,7	5,5	-	2,4	4,8	7,2	1,7	3,4	5,1	
	60	25	0,40	3,4	6,0	6,4	1,8	1,7	3,4	-	2,0	4,0	6,0	2,1	4,3	6,4	2,0	4,0	6,0	-	2,0	4,0	6,0	2,1	4,3	6,4	2,0	4,0	6,0	-	2,0	4,0	6,0	2,1	4,3	6,4	
	90	30	0,45	4,1	7,2	7,7	2,1	2,1	4,1	-	2,4	4,8	7,2	1,9	3,8	5,8	2,3	2,1	4,1	-	2,4	4,8	7,2	2,6	5,1	7,7	2,4	4,8	7,2	-	2,4	4,8	7,2	2,6	5,1	7,7	
	120	35	0,50	4,8	8,4	9,0	2,3	2,4	4,8	-	2,1	4,2	6,3	2,2	4,5	6,7	2,5	2,4	4,8	-	2,8	5,6	8,4	2,2	4,5	6,7	2,5	2,4	4,8	-	2,8	5,6	8,4	2,2	4,5	6,7	
	150	40	0,60	8,2	14,3	15,3	2,8	2,7	5,4	8,2	2,9	5,7	8,6	2,6	5,1	7,7	3,0	2,7	5,4	8,2	2,9	5,7	8,6	3,1	6,1	9,2	2,7	5,4	8,2	-	2,9	5,7	8,6	3,1	6,1	9,2	
	180	45	0,70	9,2	16,1	17,2	3,1	3,1	6,1	9,2	3,2	6,4	9,6	3,4	6,9	10,3	3,5	3,1	6,1	9,2	3,2	6,4	9,6	3,4	6,9	10,3	3,5	3,1	6,1	9,2	-	3,2	6,4	9,6	3,4	6,9	10,3
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	3,9	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	4,0	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	4,0	4,0	8,0	-	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	4,6	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	5,0	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	5,0	4,0	8,0	-	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	5,1	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	5,6	11,3	16,9	5,5	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	5,6	11,3	16,9	5,5	4,0	8,0	-	4,2	8,4	12,6	5,6	11,3	16,9	
	300	50	1,10	12,0	21,0	22,5	5,1	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	5,6	11,3	16,9	5,5	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	5,6	11,3	16,9	5,5	4,0	8,0	-	4,2	8,4	12,6	5,6	11,3	16,9	
	330	50	0,80	12,0	21,0	22,5	4,1	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,5	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,5	4,0	8,0	-	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	
	360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	3,7	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	4,0	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	4,0	4,0	8,0	-	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	
>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	5,1	6,0	12,0	16,0	5,3	10,5	15,6	5,6	11,3	16,9	5,5	6,0	12,0	16,0	5,3	10,5	15,6	5,6	11,3	16,9	5,5	6,0	12,0	-	16,0	5,3	10,5	15,6	5,6	11,3	16,9	
abril a setembro	30	20	0,40	2,7	4,8	5,1	1,7	1,4	2,7	-	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1	1,8	2,7	5,5	-	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1	1,8	2,7	5,5	-	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1	
	60	25	0,40	3,4	6,0	6,4	1,7	1,7	3,4	-	1,5	3,0	4,5	1,6	3,2	4,8	1,8	1,7	3,4	-	2,0	4,0	6,0	2,1	4,3	6,4	1,8	1,7	3,4	-	2,0	4,0	6,0	2,1	4,3	6,4	
	90	30	0,45	4,1	7,2	7,7	1,9	2,1	4,1	-	1,8	3,6	5,4	1,9	3,8	5,8	2,1	2,1	4,1	-	2,4	4,8	7,2	1,9	3,8	5,8	2,1	2,1	4,1	-	2,4	4,8	7,2	1,9	3,8	5,8	
	120	35	0,50	4,8	8,4	9,0	2,1	2,4	4,8	-	2,1	4,2	6,3	2,2	4,5	6,7	2,3	2,4	4,8	-	2,1	4,2	6,3	2,2	4,5	6,7	2,3	2,4	4,8	-	2,1	4,2	6,3	2,2	4,5	6,7	
	150	40	0,60	8,2	14,3	15,3	2,5	2,7	5,4	8,2	2,4	4,8	7,1	2,6	5,1	7,7	2,8	2,7	5,4	8,2	2,9	5,7	8,6	2,6	5,1	7,7	2,8	2,7	5,4	-	2,9	5,7	8,6	2,6	5,1	7,7	
	180	45	0,70	9,2	16,1	17,2	2,9	3,1	6,1	9,2	3,2	6,4	9,6	2,9	5,7	8,6	3,2	3,1	6,1	9,2	3,2	6,4	9,6	3,1	6,1	9,2	3,2	3,1	6,1	-	3,2	6,4	9,6	3,1	6,1	9,2	
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	3,6	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	3,9	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	4,0	8,0	12,0	-	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	4,2	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,6	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,6	4,0	8,0	-	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,6	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	5,1	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	5,1	4,0	8,0	-	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	
	300	50	0,90	12,0	21,0	22,5	3,8	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	4,1	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,5	7,5	11,3	4,1	4,0	8,0	-	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	
	330	50	0,80	12,0	21,0	22,5	3,4	3,0	6,0	9,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	3,7	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	3,7	4,0	8,0	-	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	
	360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,6	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	5,1	6,0	12,0	16,0	5,3	10,5	15,6	5,6	11,3	16,9	5,5	6,0	12,0	-	16,0	5,3	10,5	15,6	5,6	11,3	16,9
>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,0	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,4	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,4	4,0	8,0	-	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5		
maio a agosto	30	20	0,40	2,7	4,8	5,1	1,4	1,4	2,7	-	1,6	3,2	4,8	1,3	2,6	3,8	1,6	1,4	2,7	-	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1	1,6	1,4	2,7	-	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1	
	60	25	0,40	3,4	6,0	6,4	1,4	1,7	3,4	-	1,5	3,0	4,5	1,6	3,2	4,8	1,6	1,7	3,4	-	1,5	3,0	4,5	1,6	3,2	4,8	1,6	1,7	3,4	-	1,5	3,0	4,5	1,6	3,2	4,8	
	90	30	0,45	4,1	7,2	7,7	1,6	1,4	2,7	-	1,8	3,6	5,4	1,5	3,1	4,6	1,8	2,1	4,1	-	1,8	3,6	5,4	1,9	3,8	5,8	1,8	1,7	3,4	-	1,8	3,6	5,4	1,9	3,8	5,8	
	120	35	0,50	4,8	8,4	9,0	1,8	1,6	3,4	-	1,7	3,4	5,0	1,8	3,6	5,4	2,0	2,4	4,8	-	2,1	4,2	6,3	1,8	3,6	5,4	2,0	2,4	4,8	-	2,1	4,2	6,3	1,8	3,6	5,4	
	150	40	0,60	8,2	14,3	15,3	2,2	2,0	4,1	6,1	2,0	4,1	6,1	2,2	4,4	6,6	2,4	2,7	5,4	8,2	2,4	4,8	7,2	2,4	4,8	7,2	2,4	4,8	-	2,4	4,8	7,2	2,4	4,8	7,2		
	180	45	0,70	9,2	16,1	17,2	2,5	2,3	4,6	6,9	2,7	5,4	8,0	2,5	4,9	7,4	2,8	3,1	6,1	9,2	2,7	5,4	8,0	2,9	5,7	8,6	2,8	3,1	6,1	-	2,7	5,4	8,0	2,9	5,7	8,6	
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	3,1	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,4	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,4	3,0	6,0	-	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	3,6	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	4,0	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	-	4,2	8,4	12,6	4,0	8,0	12,0		
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,0	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	4,4	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	4,4	4,0	8,0	-	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	
	300	50	0,90	12,0	21,0	22,5	3,3	3,0	6,0	9,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	3,6	3,6																			

Tabela 21. Lâmina real necessária (LRN) em milímetros a ser aplicada conforme o turno de rega (1, 2 e 3 dias) para bananeira sob irrigação localizada em função do mês, dia após o plantio (DAP), profundidade de raízes (Zr), textura do solo, para variação da temperatura média diurna 11-12° para latitude- 10°S.

Mês	Período	LRN(mm)			Etc			Arenoso			Franco			Argiloso			Etc			Arenoso			Franco			Argiloso																												
		DAP	Zr (cm)	Kc	Aen	Fran	Argi	22-26°C	1	2	3	1	2	3	1	2	3	26-30°C	1	2	3	1	2	3	1	2	3																											
março	30	0,40	2,7	4,8	5,1	2,0	2,7	5,5	-	2,4	4,8	7,2	1,7	3,4	5,1	2,2	2,7	5,5	-	2,4	4,8	7,2	2,6	5,1	7,7	60	25	0,40	3,4	6,0	6,4	2,0	4,0	6,0	2,1	4,3	6,4	2,0	4,0	6,0	2,1	4,3	6,4											
	90	0,30	0,45	4,1	7,2	7,7	2,3	2,1	4,1	-	2,4	4,8	7,2	2,6	5,1	7,7	2,5	2,1	4,1	-	2,4	4,8	7,2	2,6	5,1	7,7	120	35	0,50	4,8	8,4	9,0	2,5	4,8	8,4	2,8	5,6	8,4	3,0	6,0	9,0													
	150	0,40	0,60	8,2	14,3	15,3	3,0	2,7	5,4	8,2	2,9	5,7	8,6	3,1	6,1	9,2	3,3	3,3	4,1	8,2	12,2	3,6	7,1	10,7	3,1	6,1	180	45	0,70	9,2	16,1	17,2	3,5	6,1	9,2	3,2	6,4	9,2	3,2	6,4	9,2	3,2	6,4	9,2										
	210	0,50	0,85	12,0	21,0	22,5	4,3	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,7	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	240	50	1,00	24,0	50	1,00	24,0	50	1,00	24,0	50	1,00	24,0	50	1,00	24,0	50	1,00	24,0	50								
	300	0,50	1,10	12,0	21,0	22,5	5,6	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9	5,5	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9	360	50	0,90	12,0	21,0	22,5	4,6	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5												
	>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	5,6	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9	5,5	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9	>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,1	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5												
	abril a setembro	30	0,40	2,7	4,8	5,1	1,8	2,7	5,5	-	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1	2,0	2,7	5,5	-	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1	60	25	0,40	3,4	6,0	6,4	1,8	1,7	3,4	-	2,0	4,0	6,0	2,1	4,3	6,4	2,0	4,0	6,0	2,1	4,3	6,4						
		90	0,30	0,45	4,1	7,2	7,7	2,1	2,1	4,1	-	2,4	4,8	7,2	1,9	3,8	5,8	2,3	2,1	4,1	-	2,4	4,8	7,2	2,6	5,1	7,7	120	35	0,50	4,8	8,4	9,0	2,3	2,4	4,8	-	2,1	4,2	6,3	2,2	4,5	6,7	2,5	2,4	4,8	-	2,8	5,6	8,4	2,2	4,5	6,7	
		150	0,40	0,60	8,2	14,3	15,3	2,8	2,7	5,4	8,2	2,9	5,7	8,6	2,6	5,1	7,7	3,0	2,7	5,4	8,2	2,9	5,7	8,6	3,1	6,1	9,2	180	45	0,70	9,2	16,1	17,2	3,2	3,1	6,1	9,2	3,2	6,4	9,2	3,2	6,4	9,2	3,2	6,4	9,2	3,2	6,4	9,2	3,2	6,4	9,2		
		210	0,50	0,85	12,0	21,0	22,5	3,9	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	4,3	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	240	50	1,00	24,0	50	1,00	24,0	5,6	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9	5,5	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9
		300	0,50	1,10	12,0	21,0	22,5	5,1	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9	5,5	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9	360	50	0,90	12,0	21,0	22,5	4,1	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5											
		>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	5,1	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9	5,5	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9	>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,7	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5											
maio a agosto		30	0,40	2,7	4,8	5,1	1,6	1,4	2,7	5,5	-	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1	1,7	1,4	2,7	-	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1	60	25	0,40	3,4	6,0	6,4	1,6	1,7	3,4	-	1,5	3,0	4,5	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	-	2,0	4,0	6,0	1,6	3,2	4,8		
		90	0,30	0,45	4,1	7,2	7,7	1,8	2,1	4,1	-	1,8	3,6	5,4	1,9	3,8	5,8	2,0	2,1	4,1	-	1,8	3,6	5,4	1,9	3,8	5,8	120	35	0,50	4,8	8,4	9,0	2,4	4,1	-	2,1	4,2	6,3	1,8	3,6	5,4	2,2	2,4	4,8	-	2,1	4,2	6,3	2,2	4,5	6,7		
		150	0,40	0,60	8,2	14,3	15,3	2,4	2,7	5,4	8,2	2,4	4,8	7,1	2,6	5,1	7,7	2,6	2,7	5,4	8,2	2,4	4,8	7,1	2,6	5,1	7,7	180	45	0,70	9,2	16,1	17,2	2,8	3,1	6,1	9,2	2,9	5,7	8,6	3,0	3,1	6,1	9,2	3,2	6,4	9,2	3,2	6,4	9,2				
		210	0,50	0,85	12,0	21,0	22,5	3,4	3,0	6,0	9,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	3,7	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,5	7,0	10,5	3,2	240	50	1,00	24,0	50	1,00	24,0	4,4	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,2	3,2	6,4	9,2			
		300	0,50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,4	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,8	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	360	50	0,90	12,0	21,0	22,5	3,6	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5											
		>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,4	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,8	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,6	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0		

Tabela 22. Lâmina real necessária (LRN) em milímetros a ser aplicada conforme o turno de rega (1, 2 e 3 dias) para bananeira sob irrigação localizada em função do mês, dia após o plantio (DAP), profundidade de raízes (Zr), textura do solo, para variação da temperatura média diurna. 5-6° para latitude 20°S.

Mês	Período	LRN(mm)			Etc			Arenoso			Franco			Argiloso			Etc			Arenoso			Franco			Argiloso							
		DAP	Zr (cm)	Kc	Aren	Fran	Argi	22-26°C	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	26-30°C	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
março	30	20	0,40	2,7	4,8	5,1	1,4	1,4	2,7	-	1,6	3,2	4,8	1,3	2,6	3,8	1,5	1,4	2,7	-	1,4	2,7	-	1,6	3,2	4,8	1,3	2,6	3,8				
	60	25	0,40	3,4	6,0	6,4	1,1	1,1	2,3	-	1,2	2,4	3,6	1,1	2,1	3,2	1,2	1,1	2,3	-	1,2	2,4	-	1,2	2,4	3,6	1,3	2,6	3,8				
	90	30	0,45	4,1	7,2	7,7	1,2	1,4	2,7	-	1,2	2,4	3,6	1,3	2,6	3,8	1,3	1,4	2,7	-	1,4	2,7	-	1,4	2,9	4,3	1,3	2,6	3,8				
	120	35	0,50	4,8	8,4	9,0	1,4	1,6	3,2	-	1,4	2,8	4,2	1,5	3,0	4,5	1,5	1,6	3,2	-	1,4	2,8	-	1,4	2,8	4,2	1,5	3,0	4,5				
	150	40	0,60	8,2	14,3	15,3	1,7	1,8	3,3	4,9	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1	1,8	1,6	3,3	4,9	1,6	3,3	4,9	1,6	3,3	4,9	1,8	3,6	5,4	1,7	3,4	5,1	
	180	45	0,70	9,2	16,1	17,2	1,9	1,8	3,7	5,5	2,0	4,0	6,0	1,9	3,8	5,7	2,0	2,3	4,6	6,9	2,0	4,0	6,0	2,3	4,6	6,9	2,0	4,0	6,0	2,2	4,3	6,5	
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	2,4	2,4	4,8	7,2	2,3	4,7	7,0	2,3	4,5	6,8	2,5	2,4	4,8	7,2	2,3	4,7	7,0	2,4	4,8	7,2	2,6	5,3	7,9	2,5	5,0	7,5	
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	2,8	3,0	6,0	9,0	2,6	5,3	7,9	2,8	5,6	8,4	2,9	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,1	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,2	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,2	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6			
	300	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,8	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	4,0	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,0	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3
	330	50	0,90	12,0	21,0	22,5	3,1	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,3	3,0	6,0	9,0	3,5	7,0	10,5	3,0	6,0	9,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	
	360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	2,8	3,0	6,0	9,0	2,6	5,3	7,9	2,8	5,6	8,4	2,9	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	2,8	5,6	8,4	
>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,8	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	4,0	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,0	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	3,8	7,5	11,3	
abril a setembro	30	20	0,40	2,7	4,8	5,1	1,1	1,4	2,7	-	1,2	2,4	3,6	1,0	2,1	3,1	1,2	1,4	2,7	-	1,2	2,4	-	1,2	2,4	3,6	1,3	2,6	3,8				
	60	25	0,40	3,4	6,0	6,4	1,1	1,1	2,3	-	1,2	2,4	3,6	1,1	2,1	3,2	1,2	1,1	2,3	-	1,2	2,4	-	1,2	2,4	3,6	1,3	2,6	3,8				
	90	30	0,45	4,1	7,2	7,7	1,2	1,4	2,7	-	1,2	2,4	3,6	1,3	2,6	3,8	1,3	1,4	2,7	-	1,4	2,7	-	1,4	2,9	4,3	1,3	2,6	3,8				
	120	35	0,50	4,8	8,4	9,0	1,4	1,6	3,2	-	1,4	2,8	4,2	1,5	3,0	4,5	1,5	1,6	3,2	-	1,4	2,8	-	1,4	2,8	4,2	1,5	3,0	4,5				
	150	40	0,60	8,2	14,3	15,3	1,7	1,8	3,3	4,9	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1	1,8	1,6	3,3	4,9	1,6	3,3	4,9	1,6	3,3	4,9	1,8	3,6	5,4	1,7	3,4	5,1	
	180	45	0,70	9,2	16,1	17,2	1,9	1,8	3,7	5,5	2,0	4,0	6,0	1,9	3,8	5,7	2,0	2,3	4,6	6,9	2,0	4,0	6,0	2,3	4,6	6,9	2,0	4,0	6,0	2,2	4,3	6,5	
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	2,4	2,4	4,8	7,2	2,3	4,7	7,0	2,3	4,5	6,8	2,5	2,4	4,8	7,2	2,3	4,7	7,0	2,4	4,8	7,2	2,6	5,3	7,9	2,5	5,0	7,5	
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	2,8	3,0	6,0	9,0	2,6	5,3	7,9	2,8	5,6	8,4	2,9	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,1	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,2	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,2	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6			
	300	50	0,90	12,0	21,0	22,5	2,5	2,4	4,8	7,2	2,6	5,3	7,9	2,5	5,0	7,5	2,6	2,4	4,8	7,2	2,6	5,3	7,9	2,5	4,8	7,2	2,6	5,3	7,9	2,5	5,0	7,5	
	360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	2,2	2,4	4,8	7,2	2,3	4,7	7,0	2,3	4,5	6,8	2,3	2,4	4,8	7,2	2,3	4,7	7,0	2,3	4,8	7,2	2,3	4,7	7,0	2,3	4,5	6,8	
	>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,1	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,2	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,2	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6			
maio a agosto	30	20	0,40	2,7	4,8	5,1	0,9	0,9	1,8	-	1,0	1,9	2,9	0,9	1,7	2,6	1,0	0,9	1,8	-	1,0	1,9	-	1,0	1,9	2,9	1,0	2,1	3,1				
	60	25	0,40	3,4	6,0	6,4	0,9	0,9	1,7	-	0,9	1,7	2,6	0,9	1,8	2,7	1,0	0,9	1,7	-	1,0	1,9	-	1,0	2,0	3,0	0,9	1,8	2,7				
	90	30	0,45	4,1	7,2	7,7	1,0	1,0	2,1	-	1,0	2,1	3,1	1,0	1,9	2,9	1,1	1,0	2,1	-	1,0	2,1	-	1,0	2,1	3,1	1,1	2,2	3,3				
	120	35	0,50	4,8	8,4	9,0	1,1	1,2	2,4	-	1,2	2,4	3,6	1,1	2,2	3,4	1,2	1,2	2,4	-	1,2	2,4	-	1,2	2,4	3,6	1,3	2,6	3,8				
	150	40	0,60	8,2	14,3	15,3	1,4	1,4	2,7	4,1	1,4	2,9	4,3	1,4	2,8	4,2	1,4	1,4	2,7	4,1	1,4	2,9	4,3	1,4	2,9	4,3	1,4	2,8	4,2				
	180	45	0,70	9,2	16,1	17,2	1,6	1,5	3,1	4,6	1,6	3,2	4,8	1,6	3,1	4,7	1,6	1,8	3,7	5,5	1,6	3,2	4,8	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,2				
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	1,9	2,0	4,0	6,0	1,9	3,8	5,7	1,9	3,8	5,6	2,1	2,0	4,0	6,0	2,1	4,2	6,3	2,0	4,0	6,0	2,1	4,2	6,3				
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	2,3	2,4	4,8	7,2	2,3	4,7	7,0	2,3	4,5	6,8	2,4	2,4	4,8	7,2	2,3	4,7	7,0	2,4	4,8	7,2	2,3	4,7	7,0	2,5	5,0		
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	2,5	2,4	4,8	7,2	2,6	5,3	7,9	2,5	5,0	7,5	2,7	2,4	4,8	7,2	2,6	5,3	7,9	2,4	4,8	7,2	2,6	5,3	7,9	2,8	5,6		
	300	50	0,90	12,0	21,0	22,5	2,5	2,4	4,8	7,2	2,6	5,3	7,9	2,5	5,0	7,5	2,7	2,4	4,8	7,2	2,6	5,3	7,9	2,5	4,8	7,2	2,6	5,3	7,9	2,8	5,6		
	330	50	0,90	12,0	21,0	22,5	2,0	2,0	4,0	6,0	2,1	4,2	6,3	2,0	4,1	6,1	2,2	2,0	4,0	6,0	2,1	4,2	6,3	2,0	4,0	6,0	2,1	4,2	6,3	2,3	4,5		
	360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	1,8	1,7	3,4	5,1	1,8	3,5	5,3	1,9	3,8	5,6	1,9	2,0	4,0	6,0	1,9	3,8	5,6	1,9	2,0	4,0	6,0	1,9	3,8	5,7			
>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	2,5	2,4	4,8	7,2	2,6	5,3	7,9	2,5	5,0	7,5	2,7	2,4	4,8	7,2	2,6	5,3	7,9	2,5	4,8	7,2	2,6	5,3	7,9	2,8	5,6			

Tabela 23. Lâmina real necessária (LRN) em milímetros a ser aplicada conforme o turno de rega (1, 2 e 3 dias) para bananeira sob irrigação localizada em função do mês, dia após o plantio (DAP), profundidade de raízes (Zr), textura do solo, para variação da temperatura média diurna 7-8º para latitude 20ºS.

Mês	Período DAP	Zr (cm)	LRN(mm)			Etc			Arenoso			Franco			Argiloso			Etc			Arenoso			Franco			Argiloso															
			Aren	Fran	Argi	22-26°C	26-30°C	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3														
outubro a março	30	20	0,40	2,7	4,8	5,1	1,7	1,4	2,7	-	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1	1,8	2,7	5,5	-	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1	1,8	2,7	5,5	-	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1						
	60	25	0,40	3,4	6,0	6,4	1,7	1,4	3,4	-	1,5	3,0	4,5	1,6	3,2	4,8	1,8	1,7	3,4	-	2,0	4,0	6,0	2,1	4,3	6,4	2,0	4,0	6,0	2,1	4,3	6,4	2,0	4,0	6,0	2,1	4,3	6,4				
	90	30	0,45	4,1	7,2	7,7	1,9	2,1	4,1	-	1,8	3,6	5,4	1,9	3,8	5,8	2,1	4,1	-	2,4	4,8	7,2	1,9	3,8	5,8	2,1	4,2	6,3	2,2	4,5	6,7	2,1	4,2	6,3	2,2	4,5	6,7					
	120	35	0,50	4,8	8,4	9,0	2,1	2,4	4,8	-	2,1	4,2	6,3	2,2	4,5	6,7	2,3	2,4	4,8	-	2,8	5,7	8,2	2,9	5,7	8,6	2,6	5,1	7,7	2,8	5,7	8,6	2,6	5,1	7,7	2,8	5,7	8,6				
	150	40	0,60	8,2	14,3	15,3	2,5	2,7	5,4	8,2	3,2	4,8	7,1	2,6	5,1	7,7	2,8	2,7	5,4	8,2	3,2	4,8	7,1	2,6	5,1	7,7	2,8	5,7	8,6	2,6	5,1	7,7	2,8	5,7	8,6	2,6	5,1	7,7				
	180	45	0,70	9,2	16,1	17,2	2,9	3,1	6,1	9,2	3,6	4,6	9,6	2,9	5,7	8,6	3,2	3,1	6,1	9,2	3,6	4,6	9,6	2,9	5,7	8,6	3,2	3,1	6,1	9,2	3,6	4,6	9,6	2,9	5,7	8,6	3,2	3,1	6,1	9,2		
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	3,6	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	3,9	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	3,9	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	3,9	4,0	8,0			
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	4,2	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	5,1	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	5,1	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	5,1	4,0	8,0			
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,6	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	5,1	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5		
	300	50	0,90	12,0	21,0	22,5	3,8	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	4,2	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	4,2	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	4,2	4,0	8,0			
330	50	0,80	12,0	21,0	22,5	3,4	3,0	6,0	9,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	3,7	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	3,7	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	3,7	4,0	8,0				
360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	4,6	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	5,1	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5			
>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,6	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	5,1	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5			
abril a setembro	30	20	0,40	2,7	4,8	5,1	1,4	1,4	2,7	-	1,2	2,4	3,6	1,3	2,6	3,8	1,5	1,4	2,7	-	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1	1,4	2,7	-	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1	1,4	2,7	-	1,6	3,2	4,8	
	60	25	0,40	3,4	6,0	6,4	1,4	1,1	2,3	-	1,5	3,0	4,5	1,3	2,6	3,8	1,5	1,7	3,4	-	1,5	3,0	4,5	1,6	3,2	4,8	1,5	1,7	3,4	-	1,5	3,0	4,5	1,6	3,2	4,8	1,5	1,7	3,4	-	1,5	3,0
	90	30	0,45	4,1	7,2	7,7	1,5	1,4	2,7	-	1,4	2,9	4,3	1,5	3,1	4,6	1,7	2,1	4,1	-	1,8	3,6	5,4	1,5	3,1	4,6	1,8	3,6	5,4	1,5	3,1	4,6	1,8	3,6	5,4	1,5	3,1	4,6	1,8	3,6	5,4	
	120	35	0,50	4,8	8,4	9,0	1,7	1,6	3,2	-	1,7	3,4	5,0	1,8	3,6	5,4	1,9	1,6	3,2	-	2,1	4,2	6,3	1,8	3,6	5,4	2,1	4,2	6,3	1,8	3,6	5,4	2,1	4,2	6,3	1,8	3,6	5,4	2,1	4,2	6,3	
	150	40	0,60	8,2	14,3	15,3	2,0	2,0	4,1	6,1	2,0	4,1	6,1	2,2	4,4	6,6	2,2	2,0	4,1	6,1	2,0	4,1	6,1	2,4	4,8	7,1	2,2	4,4	6,6	2,2	4,4	6,6	2,2	4,4	6,6	2,2	4,4	6,6	2,2	4,4		
	180	45	0,70	9,2	16,1	17,2	2,4	2,3	4,6	6,9	2,3	4,6	6,9	2,5	4,9	7,4	2,6	2,3	4,6	6,9	2,3	4,6	6,9	2,7	5,4	8,0	2,5	4,9	7,4	2,6	2,3	4,6	6,9	2,7	5,4	8,0	2,5	4,9	7,4	2,6	2,3	4,6
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	2,9	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	2,8	5,6	8,4	3,2	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,0	6,0	9,0	
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	3,4	3,0	6,0	9,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	3,7	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	3,7	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	3,7	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,7	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	4,1	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,1	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,1	4,0	8,0			
	300	50	0,90	12,0	21,0	22,5	3,1	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,4	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	3,4	3,0	6,0	9,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	3,4	3,0	
330	50	0,80	12,0	21,0	22,5	2,7	3,0	6,0	9,0	2,6	5,3	7,9	2,8	5,6	8,4	3,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,0	6,0			
360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	3,4	3,0	6,0	9,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	3,7	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	3,7	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	3,7	4,0	8,0				
>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,7	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	4,1	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,1	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,1	4,0	8,0				
maio a agosto	30	20	0,40	2,7	4,8	5,1	1,1	1,4	2,7	-	1,2	2,4	3,6	1,0	2,1	3,1	1,2	1,4	2,7	-	1,2	2,4	3,6	1,3	2,6	3,8	1,1	1,4	2,7	-	1,2	2,4	3,6	1,3	2,6	3,8	1,1	1,4	2,7	-	1,2	2,4
	60	25	0,40	3,4	6,0	6,4	1,1	1,1	2,3	-	1,2	2,4	3,6	1,0	2,1	3,1	1,2	1,4	2,7	-	1,2	2,4	3,6	1,3	2,6	3,8	1,1	1,4	2,7	-	1,2	2,4	3,6	1,3	2,6	3,8	1,1	1,4	2,7	-	1,2	2,4
	90	30	0,45	4,1	7,2	7,7	1,2	1,4	2,7	-	1,2	2,4	3,6	1,3	2,6	3,8	1,4	1,4	2,7	-	1,4	2,9	4,3	1,3	2,6	3,8	1,4	1,4	2,9	4,3	1,3	2,6	3,8	1,4	1,4	2,9	4,3	1,3	2,6	3,8	1,4	1,4
	120	35	0,50	4,8	8,4	9,0	1,4	1,6	3,2	-	1,4	2,8	4,2	1,3	2,6	3,8	1,5	1,6	3,2	-	1,4	2,8	4,2	1,5	3,0	4,5	1,6	3,2	4,5	1,5	3,0	4,5	1,6	3,2	4,5	1,5	3,0	4,5	1,6	3,2	4,5	
	150	40	0,60	8,2	14,3	15,3	1,6	1,6	3,3	4,9	1,6	3,3	4,9	1,6	3,3	4,9	1,8	1,8	3,3	4,9	1,6	3,3	4,9	1,8	3,6	5,4	1,9	3,8	5,7	1,8	3,6	5,4	1,9	3,8	5,7	1,8	3,6	5,4	1,9	3,8	5,7	
	180	45	0,70	9,2	16,1	17,2	1,9	1,8	3,7	5,5	2,0	4,0	6,0	1,9	3,8	5,7	2,1	2,3	4,6	6,9	2,0	4,0	6,0	2,0	4,0	6,0	2,2	4,3	6,5	2,0	4,0	6,0	2,2	4,3	6,5	2,0	4,0	6,0	2,2	4,3	6,5	

Tabela 25. Lâmina real necessária (LRN) em milímetros a ser aplicada conforme o turno de rega (1, 2 e 3 dias) para bananeira sob irrigação localizada em função do mês, dia após o plantio (DAP), profundidade de raízes (Zr), textura do solo, para variação da temperatura média diurna 11-12 para latitude 20°S.

Mês	Período		LRN(mm)			ETc		Arenoso			Franco			Argiloso			ETc			Arenoso			Franco			Argiloso		
	Zr (cm)	DAP	Kc	Aren	Fran	Argi	22-26°C	26-30°C	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
outubro a março	30	20	0,40	2,7	4,8	5,1	2,1	2,7	5,5	-	2,4	4,8	7,2	2,6	5,1	7,7	2,3	2,7	5,5	-	2,4	4,8	7,2	2,6	5,1	7,7		
	60	25	0,40	3,4	6,0	6,4	2,1	1,7	3,4	-	2,0	4,0	6,0	2,1	4,3	6,4	2,3	1,7	3,4	-	2,0	4,0	6,0	2,1	4,3	6,4		
	90	30	0,45	4,1	7,2	7,7	2,3	2,1	4,1	-	2,4	4,8	7,2	2,6	5,1	7,7	2,6	2,1	4,1	-	2,4	4,8	7,2	2,6	5,1	7,7		
	120	35	0,50	4,8	8,4	8,4	2,6	2,4	4,8	-	2,8	5,6	8,4	3,0	6,0	9,0	2,8	2,4	4,8	-	2,8	5,6	8,4	3,0	6,0	9,0		
	150	40	0,60	8,2	14,3	15,3	3,1	2,7	5,4	8,2	2,9	5,7	8,6	3,1	6,1	9,2	3,4	3,1	6,1	8,2	12,2	3,6	6,1	10,7	3,8	7,7	11,5	
	180	45	0,70	9,2	16,1	17,2	3,6	3,1	6,1	9,2	4,0	8,0	12,0	3,4	6,9	10,3	4,0	4,6	9,2	13,8	4,0	8,0	12,0	3,4	6,9	10,3		
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	4,4	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,8	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	4,5	9,0	13,5		
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	5,2	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9	5,7	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9		
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	5,7	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9	6,3	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9		
	300	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,7	4,0	8,0	12,0	5,3	10,5	15,8	4,5	9,0	13,5	5,1	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9		
	330	50	0,90	12,0	21,0	22,5	4,2	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,6	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5		
	360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	4,2	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,6	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5		
>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	5,7	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9	6,3	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9			
abril a setembro	30	20	0,40	2,7	4,8	5,1	1,7	1,4	2,7	-	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1	1,8	2,7	5,5	-	1,6	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1		
	60	25	0,40	3,4	6,0	6,4	1,7	1,7	3,4	-	1,5	3,0	4,5	1,6	3,2	4,8	1,8	1,7	3,4	-	1,5	3,0	4,5	1,6	3,2	4,8		
	90	30	0,45	4,1	7,2	7,7	1,9	2,1	4,1	-	1,8	3,6	5,4	1,9	3,8	5,8	2,1	2,1	4,1	-	1,8	3,6	5,4	1,9	3,8	5,8		
	120	35	0,50	4,8	8,4	9,0	2,1	2,4	4,8	-	2,1	4,2	6,3	2,2	4,5	6,7	2,3	2,4	4,8	-	2,1	4,2	6,3	2,2	4,5	6,7		
	150	40	0,60	8,2	14,3	15,3	2,5	2,7	5,4	8,2	2,4	4,8	7,1	2,6	5,1	7,7	2,8	2,7	5,4	8,2	2,9	5,7	8,6	2,6	5,1	7,7		
	180	45	0,70	9,2	16,1	17,2	3,0	3,1	6,1	9,2	3,2	6,4	9,6	2,9	5,7	8,6	3,2	3,1	6,1	9,2	3,2	6,4	9,6	2,9	5,7	8,6		
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	3,6	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	3,9	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,2	8,4	12,6		
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	4,2	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	4,6	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5		
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,6	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	5,1	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9		
	300	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,6	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	4,1	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,2	8,4	12,6		
	330	50	0,90	12,0	21,0	22,5	3,8	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	3,7	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3		
	360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	3,4	3,0	6,0	9,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	3,7	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3		
>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	4,6	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,5	9,0	13,5	5,1	6,0	12,0	18,0	5,3	10,5	15,8	5,6	11,3	16,9			
maio a agosto	30	20	0,40	2,7	4,8	5,1	1,4	1,4	2,7	-	1,2	2,4	3,6	1,3	2,6	3,8	1,5	1,4	2,7	-	1,5	3,2	4,8	1,7	3,4	5,1		
	60	25	0,40	3,4	6,0	6,4	1,4	1,1	2,3	-	1,5	3,0	4,5	1,3	2,6	3,8	1,5	1,7	3,4	-	1,5	3,0	4,5	1,6	3,2	4,8		
	90	30	0,45	4,1	7,2	7,7	1,5	1,4	2,7	-	1,4	2,9	4,3	1,5	3,1	4,6	1,7	1,7	3,4	-	1,5	3,6	5,4	1,5	3,1	4,6		
	120	35	0,50	4,8	8,4	9,0	1,7	1,6	3,2	-	1,7	3,4	5,0	1,8	3,6	5,4	1,9	2,0	3,2	-	1,7	3,4	5,0	1,8	3,6	5,4		
	150	40	0,60	8,2	14,3	15,3	2,0	2,0	4,1	6,1	2,0	4,1	6,1	1,9	3,8	5,7	2,2	2,0	4,1	6,1	2,4	4,8	7,1	2,2	4,4	6,6		
	180	45	0,70	9,2	16,1	17,2	2,4	2,3	4,6	6,9	2,3	4,6	6,9	2,5	4,9	7,4	2,6	2,3	4,6	6,9	2,7	5,4	8,0	2,5	4,9	7,4		
	210	50	0,85	12,0	21,0	22,5	2,9	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	2,8	5,6	8,4	3,2	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0		
	240	50	1,00	12,0	21,0	22,5	3,4	3,0	6,0	9,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6	3,7	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3		
	270	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,7	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	4,1	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,2	8,4	12,6		
	300	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,1	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	4,1	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,2	8,4	12,6		
	330	50	0,90	12,0	21,0	22,5	3,1	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,2	6,4	9,6	3,3	3,0	6,0	9,0	3,5	7,0	10,5	3,2	6,4	9,6		
	360	50	0,80	12,0	21,0	22,5	2,7	3,0	6,0	9,0	2,6	5,3	7,9	2,8	5,6	8,4	3,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0	3,0	6,0	9,0		
>360	50	1,10	12,0	21,0	22,5	3,7	4,0	8,0	12,0	3,5	7,0	10,5	3,8	7,5	11,3	4,1	4,0	8,0	12,0	4,2	8,4	12,6	4,2	8,4	12,6			

4.2. Método com base no critério da faixa de disponibilidade de água do solo

É um método em que se pressupõe que o produtor possui instrumentos de medição de umidade e/ou potencial da água no solo disponíveis e que também tem acesso à curva de retenção de água do solo, com dados ajustados a um modelo matemático ou apenas com um gráfico simples dos dados da curva de retenção (VAN GENUCHTEN, 1980; FREDLUND; XING, 1994).

A operação do método pode ser detalhada nos seguintes passos:

1. Determinar na curva de retenção a tensão crítica (T_c), com base na percentagem de redução permissível da água disponível do solo (fr) (faixa entre θ_{cc} e θ_c) que poderá variar conforme a cultivar de bananeira, ou pode ser tomada como $fr = 0,30$ pela equação 5, utilizando θ_{cc} e θ_{PM} e marcando na curva o valor de T_c correspondente a θ_c , ou usando a equação 7 se a equação de van Genuchten (1980) for conhecida.
2. Conhecida a θ_c e T_c , comunicar os valores ao leitor do tensiômetro ou do medidor de umidade para que o mesmo informe ao irrigante o momento da irrigação.
3. Calcular a lâmina real ou líquida necessária (LRN) pela equação 10;
4. Calcular a lâmina total ou bruta necessária (LTN) pela equação:

$$LTN = \frac{LRN}{E_f} \quad (11)$$

Em que:

E_f é a eficiência de irrigação.

Exemplo: Um solo de Tabuleiros costeiros em uma área irrigada com bananeira por gotejamento, com duas linhas laterais por fileira de plantas, com quatro emissores por planta, em solo de classificação textural Franco-argilo-arenoso, densidade do solo $1,51 \text{ g cm}^{-3}$, apresenta os seguintes dados da curva de retenção:

Tensão (kPa)	10	33	100	300	1500
Umidade (g.g^{-1})	0,1810	0,1530	0,1400	0,1300	0,1270

Determinar a umidade e a tensão crítica desse solo a ser informada ao leitor de campo e calcular a lâmina líquida e bruta necessária à cultura, toda vez que a tensão de água do solo atingir a tensão crítica.

Solução: Os dados de umidade e tensão de água do solo permitem estimar o modelo de Van Genuchten (1980) ajustado aos dados que resulta nos seguintes parâmetros: $\alpha = 0,4343 \text{ m}^{-1}$, $n = 2,1935 \text{ m}^{-1}$ e $m = 0,5441$.

Cálculo da umidade crítica pela equação 5:

$$\theta_c = 1,51 [0,181 - (0,181 - 0,127) \cdot 0,30] = 0,2488 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$$

Cálculo da tensão crítica pela equação 7:

$$T_c = \frac{1}{0,4345} \left[\left(\frac{0,2733 - 0,1931}{0,2488 - 0,1931} \right)^{\frac{1}{2,19335}} - 1 \right]^{\frac{1}{2,19335}} = 4,6 \text{ mca ou } 46 \text{ kPa}$$

O valor de T_c corresponde à tensão crítica no solo a 0,30 m de profundidade. Se a extremidade superior do tensiometro está a 0,30 m acima da superfície do solo, pela equação (8), a altura da coluna d'água no tensiômetro até a cápsula porosa ($H_{\text{água}}$) é de 0,60 m. Usando a equação (8), a leitura no vacuômetro do tensímetro será:

$$T_c = L - 0,098 H_{\text{água}} \quad ; \quad L = T_c + 0,098 H_{\text{água}} \quad ; \quad L = 4,6 \text{ m} + 0,098 \cdot 0,6 \text{ m} = 4,65 \text{ mca}$$

Portanto, a leitura de 46 kPa, ou 0,46 bar ou 46 cbar ou 460 mmbar, conforme a unidade do tensímetro, deverá ser informada ao operário que faz a leitura diária dos tensiômetros.

Determinação da LRN à cultura, quando a tensão de água do solo atingir a tensão crítica (T_c):

A LRN é determinada pela equação (10), considerando $f_{Am} = 0,30$ (Tabela 6, com quatro emissores por touceira, solo de textura média), $f_r = 0,30$.

$$LRN = 10 \frac{\text{mm}}{\text{cm}} \cdot (0,181 - 0,127) \frac{\text{g}}{\text{g}} \cdot 1,51 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 36,4 \text{ cm} \cdot 0,3 \cdot 0,3 = 2,6 \text{ mm}$$

Essa deverá ser a lâmina líquida a ser aplicada toda vez que a tensão de água do solo atingir a 46 kPa. A lâmina bruta, considerando a eficiência de irrigação de 85%, será:

$$LTN = \frac{2,6}{0,85} = 3,0 \text{ mm}$$

4.3. Método do balanço de água na zona radicular da planta

Esse método baseia-se na contabilização diária da variação do armazenamento de água no solo (ΔA) até uma profundidade (z), através do controle sobre a entrada e a saída de água. Os principais componentes de entrada no sistema são a precipitação efetiva, a irrigação e a ascensão capilar. A ascensão capilar ocorre quando o lençol freático está próximo da zona radicular. Os componentes de saída do balanço são a evapotranspiração, a percolação profunda e o escoamento superficial. A importância do escoamento superficial aumenta com a intensidade da chuva, tipo de solo, grau de cobertura do solo e declividade da área. Para áreas relativamente planas e chuvas de baixa a média intensidade, o escoamento superficial pode ser considerado desprezível. Além disso, o período de irrigação corresponde à estação seca do ano, em condições de déficit hídrico no solo, onde uma eventual precipitação não é suficiente para suprir o déficit do solo e chuvas de maior duração interrompem o manejo da irrigação.

O uso do balanço de água no solo requer que, no início das irrigações, o solo esteja no limite superior da disponibilidade de água do mesmo, isto é, na capacidade de campo.

Para fins de manejo da irrigação de um bananal, o balanço hídrico num volume de solo controlado pode ser escrito pela equação 12:

$$D_i = D_{i-1} + ETc + Dr - I - Pe \quad (12)$$

Onde, D_i = déficit atual de água no perfil do solo na profundidade z até o dia i (mm); D_{i-1} = déficit de água no perfil do solo até o dia anterior ($i - 1$); ET_c = evapotranspiração da cultura (mm); Dr = drenagem (mm) além da profundidade z ; I = lâmina líquida de irrigação (mm) e Pe = precipitação efetiva (mm). Precipitação efetiva é a fração da precipitação total que contribui para atender às necessidades hídricas das plantas.

O objetivo do balanço é acompanhar diariamente a variação do conteúdo de umidade do solo, partindo do solo com estado inicial de umidade na capacidade de campo. Portanto, D_i é a lâmina acumulada até o dia i , pois soma-se à lâmina acumulada até o dia anterior o que se extraiu (ET_c e Dr) e o que se acrescentou ao perfil do solo (I e Pe). Como o balanço é diário, todos os componentes da equação devem também ser diários, ou seja, o irrigante deve ter à mão os valores diários de ET_c , Dr , I , e Pe .

Assim, com base na equação 12, decide-se irrigar de acordo com as seguintes condições:

- (1) Se $D_i \geq LRN$, então deve-se irrigar
- (2) Se $D_i < LRN$, então não se deve irrigar

Se a irrigação não ocorre no momento certo, D_i vai se tornando maior que LRN e as plantas passarão a sofrer deficiência hídrica com todas as consequências ao crescimento, desenvolvimento e produção de frutos.

Na equação 12, I representa uma lâmina de irrigação que poderá ser aplicada antes que D_i se torne igual ou maior que

LRN (condição 1 acima). Neste caso, I será igual ao D_i acumulado até aquele dia. A lâmina I e a lâmina limite LRN visam elevar a umidade do solo à capacidade de campo. Na equação 12, E_{Tc} e D_r têm sinais positivos, pois estes componentes do balanço hídrico contribuem para o déficit de água no solo. Os componentes I e P_e acrescentam água e, portanto, são negativos, pois reduzem o déficit.

Normalmente, não se tem controle sobre a drenagem profunda. A determinação da mesma pode ser feita pelo balanço de água no perfil do solo na zona radicular da cultura, por meio de avaliação da umidade ou da tensão de água a diferentes profundidades do solo. O fluxo de água é determinado pela diferença de umidade entre dois períodos de tempo imediatamente abaixo da zona efetiva das raízes ou com uso da equação de Darcy-Buckingham, que depende da condutividade hidráulica não saturada e do gradiente de potencial da água do solo entre duas profundidades (SILVA et al., 2009).

O balanço de água pode ser simplificado em condições de irrigação localizada, onde a eficiência de aplicação é acima de 80% e a irrigação é feita para suprir a D_i . Nesse caso, para fins práticos, desconsidera-se a drenagem da água após uma irrigação, pois entende-se que a lâmina de irrigação é suficiente unicamente para elevar a umidade do solo à capacidade de campo. Essa avaliação pode ser feita após a irrigação por meio da leitura do tensiômetro posicionado na borda inferior do sistema radicular. Se as leituras estiverem alteradas significa que a tensão reduziu de forma a indicar que a água passou abaixo da zona efetiva do sistema radicular, e então a percolação profunda deve ser considerada.

A precipitação efetiva é considerada a diferença entre a precipitação total e a perda de água por percolação profunda e por escoamento superficial. A precipitação efetiva é um parâmetro de difícil determinação. É influenciada, principalmente, pela intensidade da chuva, declividade do terreno, tipo, textura, estrutura e umidade do solo, sistema de cultivo, práticas culturais e conservacionistas, profundidade do sistema radicular e demais características das culturas. Segundo Doorenbos e Pruitt (1997), em condições semiáridas, precipitações abaixo de 5 mm podem ser desprezadas, e em condições de cobertura vegetal completa, pode-se supor que chuvas leves têm uma eficiência de aproximadamente 100%. No balanço diário de água no solo, após uma chuva (P), num dia i qualquer, adota-se o seguinte critério (MAROUELLI et al., 1996):

$$(3) \text{ Se } P > D_i, \text{ então } P_e = D_i \text{ e } D_r = P - D_i$$

$$(4) \text{ Se } P \leq D_i, \text{ então } P_e = P \text{ e } D_r = 0$$

Sob condições de irrigação controlada, onde as perdas de água por percolação profunda e por escoamento superficial são mínimas, e quando o lençol freático é profundo o suficiente para tornar o fluxo capilar ascendente desprezível, as variáveis necessárias para a determinação da lâmina de água disponível no solo ficam restritas à ET_c , à precipitação efetiva e à lâmina de irrigação. Assim, considerando-se a umidade inicial do solo no limite superior da disponibilidade de água do mesmo (capacidade de campo), pode-se usar o balanço de forma simplificada, isto é, com o uso da ET_c e da precipitação efetiva diária para determinar tanto o momento de irrigar

quanto a lâmina de água a ser aplicada (COELHO et al., 2003; MANTOVANI et al., 2006).

O valor de ET_c a ser utilizado na equação 12 deve ser determinado em tempo real, ou seja, usando um método que permita o seu cálculo diário. O método de Penman-Monteith é o mais indicado, pois possibilita estimativas horárias de ET_c . Métodos com precisão de cinco dias, como o do tanque Classe A, podem ser usados com o devido cuidado.

O método do balanço de água na zona radicular é teoricamente o mais completo para definir o momento e a quantidade de água a aplicar, uma vez que envolve dados do sistema solo-água-planta-atmosfera, isto é, exige o conhecimento para um dado solo da lâmina de reposição de água correspondente à umidade/tensão crítica, o que envolve conhecimento da curva de retenção de água do solo (limites superior e inferior da disponibilidade de água do solo) e das características físicas do solo. Também depende das estimativas da ET_c , que por sua vez envolve a obtenção da ET_o e do K_c . Assim, este método é que fica mais sujeito a erros, dado o número de variáveis que utiliza na decisão do momento de irrigar e no cálculo da lâmina de água necessária. A avaliação contínua do estado da água do solo, quer seja com uso de instrumentos de determinação da umidade quer seja com instrumentos de determinação da tensão de água do solo, é imprescindível.

As irrigações devem ser feitas de modo que a umidade do solo retorne à capacidade de campo, entretanto, isso deverá ser confirmado frequentemente pelos instrumentos indicadores do estado da água do solo. Caso a reposição de água ao

estado correspondente ao limite superior da disponibilidade de água (capacidade de campo) não seja feito pela irrigação, o déficit pode não ser corrigido, mantendo o solo sempre com umidades abaixo da capacidade de campo, resultando em produtividades abaixo das máximas físicas e econômicas da cultura.

O método do balanço de água no solo pode ser executado manualmente, usando planilhas eletrônicas ou usando aplicativos computacionais (MANTOVANI et al., 2006; ALBUQUERQUE, 2008).

Exemplo: Uma área irrigada com bananeira Prata-Anã apresenta os seguintes dados físicos e físico-hídricos do solo: classificação textural Franco-argilo-arenoso, com areia total de 56 g kg⁻¹, silte 9,7 g kg⁻¹, argila 34,3 g kg⁻¹; a densidade do solo é de 1,51 g cm⁻³, umidade a 10 kPa igual a 0,1810 g g⁻¹ e umidade a 1500 kPa de 0,127 g g⁻¹. Os parâmetros da equação de van Genuchten (1980) da curva de retenção são: $\theta_s = 0,2733 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, $\theta_r = 0,1931 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, $\alpha = 0,4345$, $n = 2,19335$ e $m = 2,5441$. A cultura da bananeira foi plantada há 150 dias. A irrigação é por gotejamento, com duas linhas laterais por fileira de plantas, quatro emissores por touceira. O solo está inicialmente na capacidade de campo. Fazer o balanço de água na zona radicular diário durante 10 dias conforme os dados da ETo obtidos pela equação de FAO – Penman:

Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ETo (mm)	6,1	6,5	6,7	6,9	7,0	7,0	7,1	7,2	7,3	7,3

1. Estimativa da profundidade das raízes da bananeira no período

Usando a equação (2), com $J_p = 0$, $J_{ec} = 210$, $R_{zi} = 15$ cm, $R_{zmax} = 45$ cm, tem-se para $j = 150$ DAP:

$$R_z(150) = 15 + \frac{150 - 0}{210 - 0} (45 - 15) = 36,4 \text{ cm}$$

2. Determinação dos coeficientes de cultura da bananeira no período

Pela Tabela 3 do capítulo 2, o K_c para 150 DAP = 0,60. Os valores para os dias subsequentes até 180 DAP podem ser assumidos como 0,6 ou corrigidos de forma linear, isto é, usando para cada dia subsequente a equação: $k_c = \frac{n}{30} (k_{c180DAP} - k_{c150DAP}) + k_{c150DAP}$

Sendo n o número de dias decorridos de 150 DAP, $K_{c150dap}$ e $K_{c180dap}$ os coeficientes de cultura para 150 e 180 DAP obtidos da Tabela 3, capítulo 2. O $K_{c_{atual}}$ será calculado conforme a equação (6) do capítulo 2, assumindo o $K_s = 1$, isto é, não permitindo que a tensão de água do solo fique superior à tensão crítica; o K_L será obtido da Tabela 7, do capítulo 2, isto é:

$$k_L(150) = \frac{30}{60} \cdot (0,85 - 0,57) + 0,57 = 0,71$$

$$K_{c_{atual}}(150) = 0,6 \cdot 0,71 = 0,43$$

A ET_c é determinada conforme a equação (1) do capítulo II:

$$ET_c(150) = 6,1 \cdot 0,43 = 2,6 \text{ mm}$$

3. Determinação da lâmina total de água disponível do solo (LTD) equivalente à máxima disponibilidade (capacidade de campo):

A LTD será calculada pela equação considerando $f_{Am} = 0,30$ (Tabela 6 com quatro emissores por touceira, solo de textura média), $f_r = 0,30$.

$$LTD = 10 \cdot (0,181 - 0,127) \cdot 1,51 \cdot 36,4 \cdot 0,3 = 8,9 \text{ mm}$$

4. Determinação da lâmina real necessária (LRN) à cultura, quando a tensão de água do solo atingir a tensão crítica (T_c):

A LRN é determinada pela equação (10), considerando $f_{Am} = 0,30$ (Tabela 6 com quatro emissores por touceira, solo de textura média), $f_r = 0,30$.

$$LRN = 10 \frac{mm}{cm} \cdot (0,181 - 0,127) \frac{g}{g} \cdot 1,51 \frac{g}{cm^3} \cdot 36,4 \text{ cm} \cdot 0,3 \cdot 0,3 = 2,6 \text{ mm}$$

5. Tensão crítica do solo para a cultura da bananeira

Cálculo da umidade crítica pela equação 5:

$$\theta_c = 1,51 [0,181 - (0,181 - 0,127) \cdot 0,30] = 0,2488 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$$

Cálculo da tensão crítica pela equação 7:

$$T_c = \frac{1}{0,4345} \left[\left(\frac{0,2733 - 0,1931}{0,2488 - 0,1931} \right)^{\frac{1}{2,5441}} - 1 \right]^{\frac{1}{2,19335}} = 4,6 \text{ mca ou } 46 \text{ kPa}$$

Essa tensão corresponderá a uma lâmina atual disponível de $8,9 \text{ mm} - 2,6 \text{ mm} = 6,3 \text{ mm}$.

6. Montagem da tabela das variáveis envolvidas no balanço e tomada de decisão da irrigação, com determinação da lâmina líquida a ser aplicada.

Data	DAP	Zr (cm)	ET _o (mm/d)	K _L	K _c	K _{catual}	ETc (mm/d)	LTD (mm)	D _r (mm)	I (mm)	P (mm)	P _e (mm)	D _i (mm)	Decisão
11/09/09	150	36,4	6,1	0,7	0,6	0,4	2,6	8,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	Não irrigar
12/09/09	151	36,6	6,5	0,7	0,6	0,4	2,8	8,9	0,0	2,6	0,0	0,0	2,6	irrigar
13/09/09	152	36,7	6,7	0,7	0,6	0,4	2,9	6,1	5,2	2,8	8,0	2,8	2,8	irrigar
14/09/09	153	36,9	6,9	0,7	0,6	0,4	3,0	8,8	0,0		0,0	0,0	0,1	Não irrigar
15/09/09	154	37,0	7,0	0,7	0,6	0,4	3,1	5,7	0,0	3,2	0,0	0,0	3,2	irrigar
16/09/09	155	37,1	7,0	0,7	0,6	0,5	3,2	5,8	2,9	3,1	6,0	3,1	3,1	irrigar
17/09/09	156	37,3	7,1	0,7	0,6	0,5	3,2	8,8	0,0		0,0	0,0	0,1	Não irrigar
18/09/09	157	37,4	7,2	0,7	0,6	0,5	3,3	5,6	0,0	3,3	0,0	0,0	3,3	irrigar
19/09/09	158	37,6	7,3	0,7	0,6	0,5	3,4	5,5	0,0	3,4	0,0	0,0	3,4	irrigar
20/09/09	159	37,7	7,3	0,8	0,6	0,5	3,5	5,5	0,0	3,4	0,0	0,0	3,4	irrigar

7. Calcular a lâmina total ou bruta necessária (LTN) pela equação (11):

$$LTN (151) = \frac{2,6}{0,85} = 3,0\text{mm}$$

5. Manejo de irrigação com água salina

A bananeira é uma cultura de elevada sensibilidade à salinidade do solo. Condutividades elétricas do extrato de saturação do solo iguais ou superiores a 1,1 dS m⁻¹ afetam negativamente o desenvolvimento e produção da cultura (OLIVEIRA, 1997). A água de irrigação com condutividade elétrica até 4 dSm⁻¹ contribui para redução de 17,9% na produtividade (GONDIM et al., 2005). A condutividade elétrica

de 4,2 dS m⁻¹ promove uma redução de 25% da produtividade potencial da cultura, conforme a Figura 8.

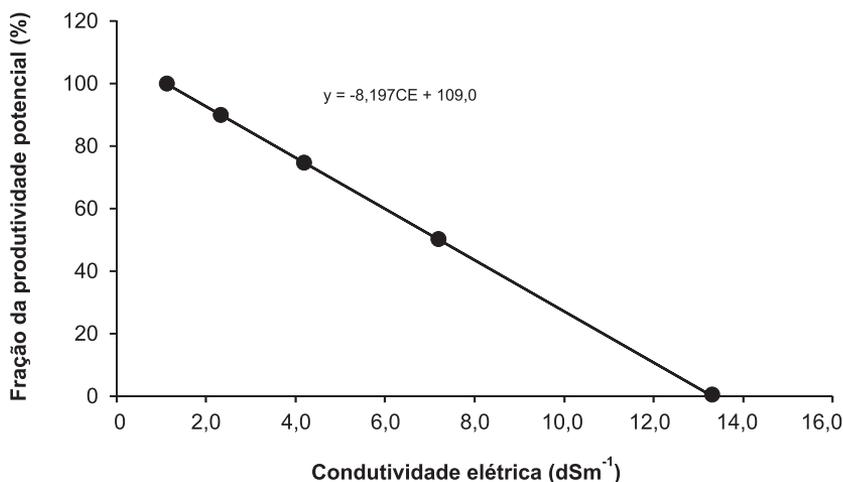


Figura 8. Frações da produtividade da bananeira em solo sob condições salinas.

Valores acima do citado para o extrato de saturação podem ocorrer em solos sem drenagem, irrigados com água salina. Nessas situações, a irrigação favorece a elevação do lençol freático e com a evaporação, a ocorrência do aumento de concentração de sais. Solos irrigados sem drenagem, mesmo com água de boa qualidade, podem ser salinizados se o mesmo for rico em íons que passam à solução do solo com a entrada de água no mesmo. Outra situação ainda possível de elevação da salinidade, ainda que de forma temporária, é a fertirrigação inadequada, a partir da aplicação de soluções de injeção com elevada concentração de algum fertilizante, principalmente com alto índice salino, conforme observado por Andrade Neto et al. (2009) na Figura 9.

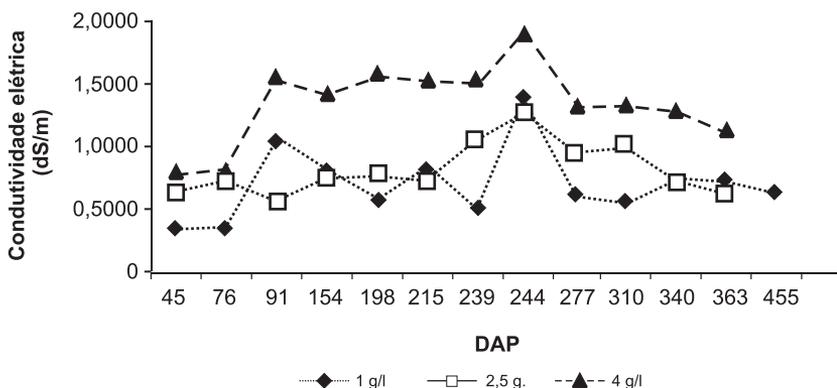


Figura 9. Condutividade elétrica da solução do solo com bananeira sob fertirrigação com aplicação de diferentes concentrações da solução de injeção de fertilizantes.

Fonte: Andrade Neto et al. (2009)

A bananeira sob condições de salinidade terá maior dificuldade de extrair água do solo pelas raízes devido à redução dos potenciais osmótico e matricial do solo, causando a diminuição do potencial ou o estado de energia de água do solo. Com baixo potencial de água no solo não há gradiente de potencial do solo para o interior da planta, podendo ocorrer o inverso. Com isso, ocorre contração da parede celular, decorrente do estresse osmótico, seguido do estresse hídrico, que é acompanhado pela redução de turgidez, tendo como consequência a redução da expansão foliar e alongamento das raízes e redução no crescimento das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A aplicação de uma lâmina de água adicional de lixiviação é a estratégia mais adotada no manejo da irrigação em solo com excesso de sais. A água de lixiviação reduz o acúmulo de sais na zona radicular, minimizando os efeitos do potencial osmótico.

A estratégia é aplicar uma lâmina de água maior que a LRN e que seja suficiente para lixiviar o excesso de sais para além da zona radicular.

A fração de água em excesso para lixiviação dos sais é determinada a partir da salinidade da água de irrigação e do nível crítico de tolerância da cultura, isto é, a salinidade do solo a partir da qual a cultura tem sua produtividade significativamente afetada. Para irrigação por aspersão e por sulco, o cálculo da lixiviação mínima requerida pode ser determinado pela Equação 13 (KELLER; BLIESNER, 1990; AYERS; WESTCOT, 1991):

$$LR = \frac{CEa}{5 \cdot CEE_{crit} - CEa} \quad (13)$$

Em que:

LR é a fração de lixiviação mínima requerida (decimal);
CEa é a condutividade elétrica da água de irrigação ($dS\ m^{-1}$);
 CEE_{crit} é a condutividade elétrica crítica do extrato de saturação do solo ($dS\ m^{-1}$).

O valor de CEE_{crit} pode ser determinado na Figura 9, em função da percentagem de redução de produtividade que se pode tolerar, sendo que, quanto menor a perda de produtividade tolerada, maior a fração de lixiviação.

Para irrigação por gotejamento e por microaspersão, com alta frequência de aplicação de água, a fração de lixiviação pode ser calculada pela média das Equações 14 e 15, apresentadas por Keller e Bliesner (1990) e Smith e Hancock (1986), respectivamente.

$$LR = \frac{CEa}{2 \cdot CEe_{100\%}} \quad (14)$$

$$CEe_{crit} = \frac{0,5 CEa}{1 - LR} \cdot \ln\left(\frac{1}{LR}\right) \quad (15)$$

Em que:

$CEe_{100\%}$ é a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo para a qual a produtividade é reduzida em 100% ($dS m^{-1}$), que pode ser obtida na Figura 8.

A drenagem em áreas com potencial de salinização é fundamental para o sucesso do projeto de irrigação e para o manejo adequado da água. Não adianta cálculos considerando a fração de lixiviação se não houver drenagem do excesso de água. Os mesmos prejuízos que a falta de drenagem acarreta em áreas com potencial de salinização em condições semiáridas ocorrem em zonas úmidas com bananais estabelecidos em baixadas, várzeas ou em áreas de cotas mais baixas do terreno. Nesses solos há necessidade de construção de sistemas de drenagem de forma a manter o lençol freático a profundidade mínima de 1,0 m da superfície do solo, e permitir que após uma chuva crítica, com conseqüente elevação do lençol freático até a superfície do solo, o mesmo possa ser rebaixado à próximo de 1,0m de profundidade em menos de 24 horas.

6. Tempo de irrigação

O manejo eficiente da irrigação está diretamente associado como o tempo que o sistema deverá ficar ligado. O tempo

de irrigação para aplicação a lâmina de água necessária em sistemas de irrigação por aspersão e localizada (gotejamento e microaspersão) depende da capacidade e da eficiência de aplicação de água do sistema. Havendo risco de salinização do solo, onde a fração de lixiviação é considerada, o tempo de irrigação será maior para compensar o acréscimo da lâmina de irrigação.

Na irrigação por aspersão, a lâmina total de água é determinada pela Equação 16.

$$LTN = \frac{LRN}{Ea \cdot (1 - LR)} \quad (16)$$

Em que:

LTN é a lâmina total de água a ser aplicada por irrigação (mm); Ea é a eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação (decimal).

Quando a fração de lixiviação calculada é menor que 10%, as perdas de água por percolação associadas à ineficiência dos sistemas de irrigação são comumente suficientes para proporcionar a lixiviação dos sais. Nesse caso, LR pode ser assumida como “zero” e não ser levada em consideração no cálculo da lâmina total de água a ser aplicada. A eficiência de aplicação deve ser avaliada, no mínimo, a cada dois anos, de forma a corrigir problemas que prejudicam o desempenho do sistema.

Nos sistemas de aspersão convencional, o tempo de irrigação necessário para aplicar a lâmina total de irrigação é determinado pela equação 17.

$$T_i = \frac{LTN}{I_a} \quad (17)$$

Em que:

T_i é o tempo de irrigação (h); I_a é a intensidade de aplicação de água do sistema (mm h^{-1}), que depende da vazão do aspersor e da área molhada, podendo ser calculada pela equação 18:

$$I_a = \frac{q_a}{E_a \cdot E_L} \quad (18)$$

Em que, q_a é a vazão do aspersor (L h^{-1}), E_a e E_L correspondem aos espaçamentos (m) entre aspersores ao longo de uma linha lateral e entre linhas laterais, respectivamente. A intensidade de aplicação de água também pode ser determinada pela média da razão entre o volume de água coletado em recipientes dispostos em uma malha considerando a área entre quatro emissores pelo tempo de avaliação. No caso, calcula-se a lâmina por recipiente, pela razão entre o volume coletado e a área da seção do recipiente.

Para sistemas de pivô central e autopropelido, deve ser selecionada a velocidade de deslocamento necessária para que o sistema aplique uma lâmina igual ou ligeiramente superior a LTN. Para isso, deve-se usar a tabela de intensidades de aplicação versus velocidade de deslocamento do equipamento fornecida pelo fabricante, ou dados resultantes da avaliação de campo de vazão e de uniformidade de aplicação de água do sistema.

Na irrigação localizada, sob condições de manejo adequado da água, a quantidade de água necessária para atender a

transpiração deve ser superior à necessidade hídrica das plantas, o que resulta em perdas inevitáveis de água por percolação profunda (P_{pp}), que podem ou não serem superiores à fração da lâmina aplicada necessária para lixiviação (LR) (Tabela 26). Os valores de P_{pp} dependem do tipo de solo e da profundidade do sistema radicular da cultura.

Tabela 26. Fração de perdas de água por percolação profunda (P_{pp}) não controlável na irrigação localizada, quando realizada em regime de alta frequência, conforme a textura do solo e profundidade do sistema radicular da cultura.

Profundidade de raízes (m)	Muito grossa	Grossa	Média	Fina
< 0,8	0,10	0,10	0,05	0,00
0,8 – 1,5	0,10	0,05	0,00	0,00
> 1,5	0,05	0,00	0,00	0,00

Fonte: Bernardo et al. (2005).

Os valores da LTN são determinados conforme os valores de LR e P_{pp} (Keller & Bliesner, 1990):

Se $LR < 0,10$ ou $P_{pp} \geq LR$

$$LTN = \frac{LRN \cdot P_{pp}}{Eu} \quad (19)$$

Se $LR \geq 0,10$ ou $P_{pp} < LR$

$$LTN = \frac{LRN}{Eu \cdot (1 - LR)} \quad (20)$$

A uniformidade de emissão é calculada utilizando a Equação 20:

$$Eu = \frac{\bar{q}_{25\%}}{\bar{q}_{100\%}} \quad (21)$$

Em que:

$\bar{q}_{25\%}$ é a média das 25% menores vazões medidas;
 $\bar{q}_{100\%}$ é a média das vazões de todos os emissores.

O tempo de irrigação para aplicar a LTN em sistemas localizados é calculado pela equação:

$$T_i = \frac{LTN \cdot E_s \cdot E_p}{N \cdot Q_e} \quad (22)$$

Em que:

E_s é o espaçamento (m) entre as fileiras de plantas; E_p é o espaçamento (m) entre touceiras ao longo da fileira; Q_e é a vazão do emissor ($L \cdot h^{-1}$) e N o número de emissores por planta. O valor de T_i será dado em horas. No caso da microaspersão, T_i também poderá ser obtido pela razão entre a LTN e a intensidade de aplicação (I_a), em que essa corresponderá ao valor médio dos valores coletados na área de influência de um emissor. Para isso, devem-se distribuir coletores de água em uma malha de pelo menos 0,50 m x 0,50 m, com o emissor no centro e coletar a água de uma irrigação durante o período de uma hora. O volume coletado pela área da seção do coletor será a lâmina correspondente ao coletor, que dividida pelo tempo de irrigação em horas, fornecerá o valor da I_a daquela posição. Os valores a serem contabilizados deverão ser aqueles situados na área molhada pelo emissor.

Exemplo: Calcular o tempo de irrigação correspondente à lâmina real necessária obtida pelo exemplo do item 4.2 (indicadores de umidade e tensão de água do solo):

Solução: A LRN calculada pelo método do uso de indicadores de umidade e tensão de água do solo para bananeira irrigada por gotejamento com duas fileiras de plantas, com quatro emissores por planta foi de 2,6 mm. Considerando o espaçamento da bananeira de 3,0 m x 2,5 m e a vazão dos gotejadores de 4 L h⁻¹, tem-se que o volume de água a aplicar por planta (Vp) será:

$$\text{LRN} = 2,6\text{mm}$$

$$2,6\text{litros} \rightarrow 1\text{m}^2$$

$$Vp \text{ litros} \rightarrow 7,5\text{m}^2 \text{ (área ocupada pela planta)}$$

$$Vp = 19,5 \text{ litros / planta}$$

Sendo “Vp” igual a 19,5 litros/planta, como o fator de área molhada já foi levado em conta no cálculo da LRN, o próximo passo é saber qual a vazão (Qp) que cada planta está recebendo:

4 gotejadores de 4 L h⁻¹ por planta, N.Q_e = 16 L h⁻¹planta⁻¹, logo, o tempo de irrigação será calculado pela equação 21.

$$T_i = \frac{19,5 \text{ litros / planta}}{16 \text{ litros / hora / planta}} = 1,21 \text{ hora}$$

Levando em conta a eficiência do sistema, tem-se:

$$T_i = \frac{1,21 \text{ hora}}{0,85} = 1,43 \text{ hora: . 1hora e 26 minutos}$$

6.1. Horário da irrigação

Qual o melhor horário para a irrigação? Essa é uma das perguntas mais comuns dos produtores que trabalham com a

bananicultura irrigada. A resposta dessa questão deve ponderar os seguintes aspectos: (I) tipo de sistema de irrigação em uso e uniformidade de distribuição de água; (II) extração de água do solo pela cultura; e (III) condições operacionais e aspectos econômicos.

Sistemas de irrigação por aspersão convencional em bananeira devem considerar aspersores subcopa com ângulo de jato próximo de $6-7^{\circ}$. Nessas condições, nos primeiros três a quatro meses do plantio, a velocidade do vento, a umidade relativa e temperatura do ar são fatores que podem afetar sensivelmente a uniformidade de distribuição de água. É necessário escolher horários em que esses fatores têm menos interferência na uniformidade de distribuição de água, isto é, horários de baixa intensidade de ventos, menor temperatura e alta umidade relativa do ar, o que ocorre nas primeiras horas da manhã, no final da tarde ou à noite. A partir do quarto mês, a altura da planta e o dossel reduzem a interferência desses fatores. Sistemas de aspersão portáteis ou semiportáteis não permitem o uso noturno. Já os fixos, assim como o gotejamento e mecanizados, como o pivô central, podem irrigar durante a noite sem qualquer problema.

A cultura da bananeira apresenta um perfil de transpiração (Figura 10) que indica uma taxa de crescimento da transpiração máxima constante a partir das primeiras horas de luz solar até próximo de 11:00 horas, mantendo seu valor máximo com taxa nula até o período entre 14:00 e 15:00 horas. A partir daí, tende a reduzir a uma taxa negativa quase constante até o início da noite (LU et al., 2002).

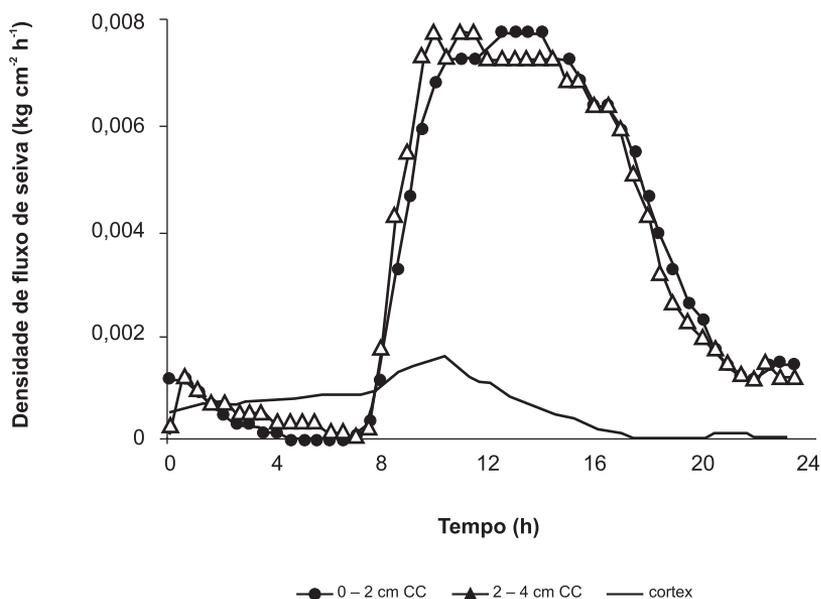


Figura 10. Densidade de fluxo de seiva durante 24 horas do dia, medido no cilindro central (CC) e no córtex da planta.

Fonte: Lu et al. (2002).

Com base nas informações de Lu et al. (2002), recomenda-se a irrigação num dado período do dia que permita um uso máximo de água pela planta naquele dia, já que o cálculo da lâmina a ser aplicada considera a evapotranspiração do dia. Assim, a irrigação no início da manhã disponibilizará água no solo para ser usada pela planta durante a manhã, período em que a taxa de transpiração é mais alta. Esta se mantém alta no meado do dia e continua à tarde, embora em taxa negativa. A irrigação realizada à tarde ou à noite coincide com o período de decréscimo da transpiração ou transpiração quase nula (à noite). Neste caso, a planta poderá não usar totalmente a lâmina líquida aplicada no dia da irrigação e, dependendo do tipo de solo, a água aplicada poderá percolar durante a noite

deixando o solo em tensões superiores à tensão crítica para a bananeira no dia seguinte.

A tarifa de energia elétrica é outro fator que pode ser decisivo na escolha do horário da irrigação. Existe uma tarifação reduzida para irrigar durante a noite, geralmente das 21h30min às 06h00min, com descontos que podem chegar a 90%. Além de uma considerável redução de custos, a opção pela irrigação durante a noite fornece mais tempo e flexibilidade ao agricultor para realizar os tratos culturais necessários ao bom desenvolvimento da cultura durante o período diurno.

7. Referências

- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M. **Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and drainage, 56).
- ALLEN, R.G. **Irrigation engineering**: course lecture notes. Department of Agricultural Engineering, Utah State University, Logan, Utah. 1992. 297 p.
- ANDRADE NETO, T.M. **Monitoramento de íons na solução e no extrato de saturação do solo sob aplicação de diferentes concentrações de sais fertilizantes na água de irrigação em bananeira da Terra**. 2009, 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2009.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A água na agricultura**. Roma: FAO, 1991. 218 p. (Irrigação e Drenagem, 29).
- ALBUQUERQUE, P.E.P. Estratégias de manejo de irrigação. In; ALBUQUERQUE, P.E.P.; DURÃES, F.O.M. **Uso e manejo de irrigação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 449-486.
- BELLINGHAM, B.K. Method for irrigation scheduling based on soil moisture data acquisition. In: IRRIGATION AND DRAINAGE CONFERENCE,

UNITED STATES COMMITTEE ON IRRIGATION AND DRAINAGE, 2009. [Report], [2009]...17p.

BERNARDO, S., SOARES, A.A., MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: UFV, 2005. 611 p.

COELHO, E. F.; COSTA, E. L. da; TEIXEIRA, A. H. de C.; OLIVEIRA, S. L. de. **Irrigação da bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003. 8 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Circular Técnica, 53).

COSTA, F. da S.; COELHO, E. F.; SANTANA JUNIOR, E. B.; ANDRADE NETO, T. M. de; NASCIMENTO JUNIOR, A. L. do; SILVA, A. C. P. da; SOUZA, L. D. Estimativa da umidade na saturação e residual e dos parâmetros a e n da equação de Van Genuchten com base em atributos físicos do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. 18., 2010, Teresina. **Novos caminhos para a agricultura conservacionista no Brasil**. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2010. 1 CD-ROM. PDF 474.

DASBERG, S.; OR, D. **Drip irrigation**. New York: Springer-Verlag. 1999. 162p.

DENMEAD, O.T. ; SHAW, R.H. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. **Agronomy Journal**, v 54, p385-390, 1962.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome, Italy: FAO Irrigation and Drainage. S.p. (FAO paper 24). 1977.

DOURADO NETO, D., NIELSEN, D. R., HOPMANS, J.W., REICHARDT, K., BACCHI, O.O.S., LOPES, P. P. **Programa para confecção da curva de retenção de água no solo. Soil Water Retention Curve, SWRC (version 3.00 beta)**. Piracicaba :Universidade de São Paulo, 2001.

EVETT, S.R. Soil water and monitoring technology. In: LASCANO, R.J.; SOJKA, R.E. (Ed.) **Irrigation of agricultural crops**. 2. ed. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 2007, p. 25-84. (Agronomy Monograph, 30)

FREDLUND, D.G. E XING, A. Equations for the soil-water characteristic curve. **Canadian Geotechnical Journal**, v.31, n.3, p.521-532. 1994.

KELLER; BLIESNER,; VANGENUCHTEN, M.T. H.; LEIJ, F. J.; YATES, S.R. **The RETC code for quantifying the hydraulic functions of**

unsaturated soils. USA: Proja conseguido ectsummary,EPA'S Robert S. Kerr Environmental Research Lab., 1992.

LUP., WOO K.C.; LIU Z.T. Estimation of whole-plant transpiration of bananas using sap flow measurements. **Journal of Experimental Botany**, v.3, p.1771–1779. 2002

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e práticas.** Viçosa: UFV, 2006. 318 p.

MAROUELLI, W.A. **Tensiômetros para o controle de irrigação em hortaliças.** Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. 15 p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 57).

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Manejo da irrigação em hortaliças.** 5.ed. Brasília: EMBRAPA-SPI/EMBRAPA-CNPQ, 1996. 72 p.

MAROUELLI, W.A.; CALBO, A.G. **Manejo de irrigação em hortaliças com sistema Irrigas.** Brasília: Embrapa Hortaliças, 2009. 16 p. (Circular Técnica, 69).

MARTIN, E.C. **Methods of measuring irrigation scheduling-When.** Tucson: University of Arizona, 2009, 7p.

NAIME, J. M.; VAZ, C. M. P.; MACEDO, A. Determinações físicas do solo a partir da granulometria: programa Qualisolo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16, 2006, Aracaju. Novos desafios do carbono no manejo conservacionista. **Resumos...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, S.L. Irrigação. In: ALVES, E. J. (Org.). **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais.** Brasília, DF: EMBRAPA-SPI; Cruz das Almas: EMBRAPA/CNPQ, p.317-334. 1997.

SILVA, A. J. P. da ; COELHO, E. F.; MIRANDA, J.H. de ; WORKMAN, S.R. . Estimating water application efficiency by using TDR on drip irrigated. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 730-737, 2009.

SMITH, M.; HANCOCK, N.H. Leaching requirement of irrigated soil. **Agricultural and Water Management**, v. 11, p. 13-22, 1986.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.44, p.892-898, 1980.

VAN GENUCHTEN, M.Th. On estimating the hydraulic properties of unsaturated soils. **Proceedings International Workshop**. Univ. of California, Riverside. p.1-14. 1992.



INSTITUTO FEDERAL BAIANO - CAMPUS GUANAMBI

17 anos de Excelência em Educação Profissional e

Tecnológica para o Desenvolvimento Regional

ENSINO

PESQUISA

EXTENSÃO

CURSOS PROFISSIONALIZANTES E SUPERIORES

(77) 3493-2100 | guanambi.ifbaiano.edu.br





**INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

BAIANO
Campus Guanambi

