

DIONEI LIMA SANTOS

**TÉCNICA DO SECAMENTO PARCIAL DO SISTEMA RADICULAR PARA O
MAMOEIRO NO SEMIÁRIDO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Fernando França da Cunha

Coorientador: Eugênio Ferreira Coelho

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S237t
2020 Santos, Dionei Lima, 1990-
Técnica do secamento parcial do sistema radicular para o
mamoeiro no semiárido / Dionei Lima Santos. – Viçosa, MG,
2020.

106 f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Fernando França da Cunha.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Mamão - Irrigação. 2. *Carica papaya*. 3. Frutas - Cultivo.
4. Zonas semiáridas. 5. Irrigação por gotejamento. 6. Eficiência
do uso de água. 7. Déficit hídrico. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 634.65187

DIONEI LIMA SANTOS

**TÉCNICA DO SECAMENTO PARCIAL DO SISTEMA RADICULAR PARA O
MAMOEIRO NO SEMIÁRIDO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 20 de julho de 2020.

Assentimento:

Diomei Lima Santos

Diomei Lima Santos

Autor



Fernando França da Cunha

Orientador

*Aos meus pais, irmãos, amigos e toda
comunidade científica, dedico e ofereço!*

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da VIDA!

Aos meus pais.

Ao meu orientador Professor Fernando França da Cunha, pela confiança, amizade, paciência, descontração (fala “baiano”), pelo compartilhamento de suas inúmeras ideias e dicas para o desenvolvimento desse trabalho, da minha vida profissional e pessoal.

Ao meu coorientador Dr. Eugênio Ferreira Coelho, pela amizade, incentivo, hospitalidade em sua sala na Embrapa Mandioca e Fruticultura, pelas orientações teóricas e práticas nas pesquisas durante a graduação, mestrado e doutorado, e por compartilhar suas inúmeras ideias e entusiasmos sobre o uso racional da água pela fruticultura irrigada na região semiárida do Brasil.

Ao amigo e Professor Silvio Bueno Pereira (*in memoriam*), pelos conselhos, amizade, confiança e apoio durante o mestrado e o doutorado.

Ao professor Sérgio Donato e Aloísio, pelo apoio e disponibilização do IRGA para realização das mensurações fisiológicas.

Ao Professor Eliemar Camostrini da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pela parceria, ensinamentos metodológicos e auxílio no tratamento dos dados fisiológicos.

Ao Setor de Irrigação da Embrapa Mandioca e Fruticultura, do IF Baiano – *Campus* Bom Jesus da Lapa e da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG – Norte de Minas), meus sinceros agradecimentos, pela disponibilização do espaço, equipamentos e apoio na execução dos experimentos. De forma especial agradeço a Tarcísio, Paulo, Márcio Alves, Elisa Freitag, Hélder Sampaio, João Batista e Maria Conceição. Meu muito obrigado!

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização do doutorado. Meus sinceros agradecimentos a todos os professores, em especial, ao Prof. Everardo Mantovani, Prof. Gilberto Sedyama, Prof^a. Catariny Cabral, Prof. Sérgio Zolnier, Prof^a. Gabrielle Pires e ao Prof. Carlos Eduardo M. dos Santos.

Aos amigos do Grupo de Estudos e Soluções para Agricultura Irrigada (GESAI) e de Viçosa - MG, de maneira especial, ao Roberto Filgueiras, Cássio Alvino, Edcássio Dias, Lucas Borges, Santos Dias, Elvis Alves, Jannaylton Santos, Gustavo Henrique, Rafael

Gomes, Rodrigo Dal Sasso, José Darlon, Hugo Santos, José Aridiano, Elias José, Marcel Abreu e Sidney Velloso.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, *Campus* Conceição do Araguaia, pelo apoio e concessão da minha licença das atividades laborais para conclusão do doutorado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Embrapa Mandioca e Fruticultura e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, pelo apoio financeiro durante as etapas de execução desse trabalho.

BIOGRAFIA

DIONEI LIMA SANTOS, filho de João Rios dos Santos e Marilene Alves de Lima Santos, nasceu em Feira de Santana, BA, em 04 de agosto de 1990.

Em fevereiro de 2006, ingressou no Curso Integrado em Técnico Agrícola com Habilitação em Agropecuária, na Escola Agrotécnica Federal de Senhor do Bonfim, em Senhor do Bonfim, BA, concluindo-o em novembro de 2008.

Em agosto de 2009, ingressou no Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, em Cruz das Almas, BA, concluindo-o em novembro de 2014. Durante a graduação, foi bolsista PIBIC/CNPq por dois anos consecutivos. Realizou estágio por um ano na Embrapa Mandioca e Fruticultura, na área de irrigação, com ênfase em fertirrigação de bananeira.

No ano de 2012 foi bolsista pelo programa Mobilidade Estudantil pela Associação Nacional dos Dirigentes das Instituições Federais de Ensino Superior (ANDIFES), como aluno de graduação da Universidade Federal de Viçosa, onde desenvolveu estágio no Grupo de Estudos e Soluções para Agricultura Irrigada (GESAI). No período de junho 2013 a junho 2014, foi bolsista pelo programa Ciência Sem Fronteiras, como aluno de graduação da École Nationale Supérieure des Sciences Agronomiques de Bordeaux Aquitaine, Bordeaux – França.

Em março de 2015, iniciou o Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, na área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, submetendo-se à defesa de dissertação em fevereiro de 2017.

Em março de 2017, iniciou o Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, na mesma área de concentração do Mestrado. No dia 29 de outubro de 2017, tomou posse como professor efetivo do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico (EBTT) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, *Campus* Conceição do Araguaia, PA. Em julho de 2020, submeteu-se à defesa da tese.

“O único lugar aonde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário”.

(Albert Einstein)

RESUMO

SANTOS, Dionei Lima, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2020. **Técnica do secamento parcial do sistema radicular para o mamoeiro no semiárido.** Orientador: Fernando França da Cunha. Coorientador: Eugênio Ferreira Coelho.

As mudanças climáticas e o aumento do consumo de água pelos seus múltiplos usuários têm contribuído para redução da disponibilidade de recursos hídricos nos perímetros públicos e privados de irrigação. Assim, as estratégias de manejo da irrigação que visam reduzir o consumo hídrico das culturas, sem perder a qualidade e a quantidade dos produtos colhidos, devem ser buscadas, compreendidas e introduzidas nas áreas irrigadas da região semiárida. A técnica do secamento parcial da zona radicular (“partial rootzone drying”, PRD) é relevante e contribui para mitigação da escassez de água na fruticultura irrigada. No entanto, a compreensão dos efeitos dos componentes (frequência de alternância do lado irrigado *versus* percentagem de redução da lâmina de irrigação) sobre as características agrônômicas, relações fisiológicas e o consumo de água das fruteiras, como é o caso do mamoeiro, ainda é considerada um dos gargalos do conhecimento que envolve essa técnica em condições semiáridas. Portanto, essa tese teve como objetivo no seu primeiro capítulo em avaliar os efeitos da técnica do secamento parcial da zona radicular sobre o comportamento hídrico do solo, crescimento, produtividade e qualidade dos frutos do mamoeiro (*Carica papaya* L.) cultivado na região semiárida da Bahia e de Minas Gerais. Já no segundo capítulo o foco foi estudar os efeitos da técnica do secamento parcial da zona radicular sobre as variáveis fisiológicas, taxa de crescimento em altura e diâmetro do caule, eficiência agrônômica do uso de água e a pegada hídrica do mamoeiro nas condições edafoclimáticas da região semiárida da Bahia. Os tratamentos foram constituídos de uma testemunha (Irrigação Plena – IP) e na percentagem de redução de 50 e 35% da lâmina bruta (LB) com frequências de alternância do lado irrigado de 0, 7, 14 e 21 dias. O sistema de irrigação adotado nas áreas experimentais foi o gotejamento, com três emissores em cada lado da planta, e o manejo da irrigação foi realizado via clima. No primeiro capítulo, os resultados obtidos mostraram que, em média, no lado submetido ao secamento do sistema radicular, a água disponível no solo reduziu a níveis de 14% para frequência de alternância do lado irrigado de 7 dias, 20% para 14 dias e de 55% para 21 dias, quando comparado com a água disponível no solo correspondente a umidade crítica para o mamoeiro. O déficit hídrico parcial no solo, ocasionado pela técnica do PRD, não promoveu reduções significativas no comprimento total das raízes, na profundidade efetiva e na distância horizontal efetiva do sistema radicular do mamoeiro. A técnica do PRD

não comprometeu a qualidade dos frutos do mamoeiro. Nos tratamentos submetidos à técnica PRD, as maiores produtividades ocorreram nos tratamentos PRD 7 35% (89.933 kg ha⁻¹) e PRD 14 35% (84.453 kg ha⁻¹), com 55,64% e 52,76% superior a média nacional, respectivamente. Em condições de baixa disponibilidade dos recursos hídricos, a técnica do PRD com alternância do lado irrigado de 7 dias e redução de 35% da LB é a mais indicada para o mamoeiro. Com base nos resultados do segundo capítulo, a variável condutância estomática (g_s), transpiração (E) e fotossíntese líquida (A), não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos estudados. A variável taxa de crescimento em altura e a taxa de crescimento em diâmetro do caule apresentaram uma relação positiva e significativa com a produtividade. Quando comparado ao tratamento IP, a menor redução na quantidade de água aplicada (PRD7 35% e PRD14 35%) pode aumentar a eficiência agrônômica do uso de água (EAUA) do mamoeiro sem comprometer a produtividade e as trocas gasosas, as quais foram similares ao tratamento IP. O mamoeiro 'Tainung 01', nas condições de cultivo deste trabalho, apresentou um comportamento mais próximo do anisohídrico. O PRD com frequência de alternância do lado irrigado com intervalos de 7 a 14 dias e uma redução de 35% na lâmina de irrigação aplicada pode ser uma técnica viável para reduzir a pegada hídrica do mamoeiro, aumentando assim o uso efetivo de água nas condições semiáridas.

Palavras-chave: *Carica papaya*. Fruticultura no semiárido. Irrigação deficitária. Trocas gasosas. Eficiência do uso de água.

ABSTRACT

SANTOS, Dionei Lima, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2020. **Technique of partial drying of the root system for papaya in the semiarid region.** Adviser: Fernando França da Cunha. Co-adviser: Eugênio Ferreira Coelho.

The climate changes and the growth in water consumption by its multiple users have contributed to the reduction in water resources availability in the public and private irrigation perimeters. Thus, the strategies of irrigation management that aim to reduce the hydric consumption by crops without losing quality and quantity of harvested products should be seek, comprehended and introduced in irrigated areas of semiarid region. The technique of partial root zone drying (PRD) is relevant and contributes to the mitigation of water scarcity in irrigated fruticulture. However, the comprehension of the effects of the components (irrigated side alternation frequency *versus* irrigation depth reduction percentage) over agronomic characteristics, physiologic relations and the consumption of water by fruit trees, which is the case of papaya, is still considered one of the bottlenecks of the knowledge that involves this technique in semiarid conditions. Therefore, this thesis had as objective in its first chapter to evaluate the effects of the technique of partial root zone drying over the hydric behavior of the soil, growth, yield and quality of papaya (*Carica papaya* L.) fruits cultivated at the semiarid region of Bahia and Minas Gerais states. In its second chapter the focus was to study the effects of technique of partial root zone drying over the physiologic variables, height and stem diameter growth rate, water use agronomic efficiency and hydric footprint of the papaya under edaphoclimatic conditions of the semiarid region of Bahia. The treatments were constituted of one control (Full Irrigation – FI) and in the percentage of reduction of 50% and 35% in gross irrigation depth (GID) with frequencies of the alternation of the irrigated side of 0, 7, 14 and 21 days. The system of irrigation adopted in experimental areas was dripping with three emitters in each side of the plant and the irrigation management was done by climate. In the first chapter, the results obtained showed that, in average, in the side submitted to the root zone drying the water in soil availability reduced to the level of 14% for 7 days of frequency of the irrigated side, to 20% for 14 days and to 55% for 21 days, when compared to the water available in the soil corresponding to the critical soil moisture for papaya. The partial water deficit in soil caused by the PRD did not promote significant reductions in the full length of roots, in the effective depth and in the effective horizontal distance of the root system of papaya. The technique of PRD did not compromise the quality of papaya fruits. In

the treatments submitted to the PRD technique, the highest productivity occurred in the treatments PRD 7 35% (89.933 kg ha⁻¹) and PRD 14 35% (84.453 kg ha⁻¹), with 55.64% and 52.76% above the national average, respectively. In the condition of low availability of water resources, the technique of PRD with irrigated side alternation from 7 days and reduction of 35% of GID is more indicated to the papaya. Based on the results of the second chapter, the stomatal conductance variable (g_s), transpiration (E) and net photosynthesis (A) did not present significant difference between the studied treatments. The variables height growth rate and stem diameter growth rate presented a positive and significant relation with yield. When compared to the FI treatment, the smallest reduction in the amount of water applied (PRD7 35% and PRD14 35%) can increase the agronomic water use efficiency of papaya (AWUE) without compromising its yield and gas exchange, which were similar to those found in the FI treatment. ‘Tainung 01’ papaya, under the cultivation conditions of this work, showed a behavior closer to anisohydric. PRD with irrigated side alternated at intervals of 7 to 14 days and 35% reduction in the applied irrigation depth can be a viable technique to reduce the water footprint of papaya, thus increasing the effective use of water under semiarid conditions.

Keywords: *Carica papaya*. Fruticulture in semiarid region. Stress irrigation. Gas exchanges. Water use efficiency.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1. Localização dos experimentos nos Estados da Bahia (BA) e Minas Gerais (MG)....	48
Figura 1.2. Disposição dos tratamentos em campo: PRD 7 – frequência de alternância de 7 dias do lado irrigado, PRD 14 - frequência de alternância de 14 dias do lado irrigado, PRD 21 - frequência de alternância de 21 dias do lado irrigado, IF – Irrigação fixa em um único lado e IP – irrigação plena, ou seja, irrigação simultaneamente nos dois lados (aplicação de 100% da LB).....	49
Figura 1.3. Disposição dos tratamentos em campo: T1 – frequência de alternância de 7 dias do lado irrigado (50% LB), T2 - frequência de alternância de 14 dias do lado irrigado (50% LB), T3 - frequência de alternância de 21 dias do lado irrigado (50% LB), T4 – irrigação fixa em um único lado (50% LB) e T5 – irrigação simultaneamente nos dois lados (aplicação de 100% da LB).....	51
Figura 1.4. Água disponível no solo nos diferentes regimes de irrigação em PRD: secamento parcial da zona radicular, com redução de 50 e 35% da lâmina bruta de irrigação (LB), alternando aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular, com redução de 50 e 35% da LB; IP: irrigação plena, 100% da LB, e f: água disponível no solo correspondente a umidade crítica para o mamoeiro, em Bom Jesus da Lapa - BA.....	56
Figura 1.5. Água disponível no solo nos diferentes regimes de irrigação em PRD: secamento parcial da zona radicular, com redução de 50% da lâmina bruta de irrigação (LB), alternando aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular, com redução de 50% da LB; IP: irrigação plena, 100% da LB, e f: água disponível no solo correspondente a umidade crítica para o mamoeiro, em Jaíba - MG.	57
Figura 2.1. Localização do experimento no Estado da Bahia.	74
Figura 2.2. Disposição dos tratamentos em campo: PRD 7 – frequência de alternância de 7 dias do lado irrigado, PRD 14 - frequência de alternância de 14 dias do lado irrigado, PRD 21 - frequência de alternância de 21 dias do lado irrigado, IF – Irrigação fixa em um único lado e IP – irrigação plena, ou seja, irrigação simultaneamente nos dois lados (aplicação de 100% da LB).....	75
Figura 2.3. Umidade relativa do ar e temperatura média, máxima e mínima durante os meses de condução (janeiro/2016 a maio/2017) do experimento em Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil.	77
Figura 2.4. Lâmina bruta de irrigação, precipitação e déficit de pressão de vapor do ar durante os meses de condução do experimento em Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil.	78
Figura 2.5. Água disponível no solo nos diferentes regimes de irrigação em PRD: secamento parcial da zona radicular, com redução de 50 e 35% da lâmina bruta(LB), alternando aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular, com redução de 50 e 35% da LB; IP: irrigação plena, 100% da LB, e f: água disponível no solo correspondente a umidade crítica para o mamoeiro, Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil.....	82
Figura 2.6. Relação entre a fotossíntese líquida e a condutância estomática do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular; e IP: irrigação plena, Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil. *- Significativo ($p < 0,05$); NS - Não Significativo; e () - Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (eixo y) e letra minúscula (eixo x) pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.	84

- Figura 2.7. Relação entre a fotossíntese líquida e a produtividade do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular; e IP: irrigação plena, Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil.*- Significativo ($p < 0,05$); NS - Não Significativo; e () - Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (eixo y) e letra minúscula (eixo x) pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. 85
- Figura 2.8. Relação entre a produtividade e a A/RFA do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular; e IP: irrigação plena, Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil. *- Significativo ($p < 0,05$); NS - Não Significativo; e () - Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (eixo y) e letra minúscula (eixo x) pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. 86
- Figura 2.9. (A) Relação entre a produtividade de frutos e a porcentagem de redução da g_s das 8 para as 13 horas, (B) relação entre a produtividade de frutos e a porcentagem de incremento da E das 8 para as 13 horas do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular; e IP: irrigação plena, Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil.*- Significativo ($p < 0,05$); NS - Não Significativo; e () - Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (eixo y) e letra minúscula (eixo x) pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. 88
- Figura 2.10. (A) Valores médios da condutância estomática (g_s) às 8 horas e às 13 horas, (B) valores médios da fotossíntese líquida às 8 horas e às 13 horas, e (C) valores médios da transpiração (E) às 8 horas e às 13 horas do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular; e IP: irrigação plena, Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil. *Médias seguidas pela mesma letra no tratamento não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. 89
- Figura 2.11. (A) Relação entre a produtividade de frutos e a taxa de crescimento em altura, (B) relação entre a produtividade de frutos e a taxa de crescimento em diâmetro do caule, (C) relação entre a eficiência agrônômica do uso de água do crescimento em altura ($EAUA_{altura}$) e a eficiência agrônômica do uso de água ($EAUA$) do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular; e IP: irrigação plena, em Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil. *- Significativo ($p < 0,05$); NS - Não Significativo; e () - Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (eixo y) e letra minúscula (eixo x) pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. 91
- Figura 2.12. Relação entre a eficiência agrônômica do uso da água e a eficiência intrínseca do uso de água do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular; e IP: irrigação plena, Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil. *- Significativo ($p < 0,05$); NS - Não Significativo; e () - Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (eixo y) e letra minúscula (eixo x) pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. 92
- Figura 2.13. Relação entre a pegada hídrica (lâmina total de irrigação) e a eficiência intrínseca do uso de água (A/g_s) do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular; e IP: irrigação plena, em Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil. *- Significativo ($p < 0,05$); NS - Não Significativo; e () - Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (eixo y) e letra minúscula (eixo x) pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. 93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1. Classificação granulométrica (g kg^{-1}) do solo da área experimental de Bom Jesus da Lapa – BA.	48
Tabela 1.2. Classificação granulométrica (g kg^{-1}) do solo da área experimental de Jaíba – MG.	50
Tabela 1.3. Valores médios mensais de déficit de pressão de vapor (kPa) e valores mensais acumulados de lâmina bruta (LB em mm) e precipitação pluvial (PP em mm) durante os meses de condução do experimento em Bom Jesus da Lapa - BA e Jaíba - MG.	55
Tabela 1.4. Médias de altura, diâmetro e área foliar do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular; e IP: irrigação plena em diferentes épocas (dias após transplante - DAT), em Bom Jesus da Lapa - BA e Jaíba - MG.	59
Tabela 1.5. Profundidade efetiva, distância horizontal efetiva e comprimento total acumulado das raízes do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos 7, 14 e 21 dias e redução de 50% da LB; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular, com redução de 50% da LB; e IP: irrigação plena, 100% da LB, em Jaíba – MG.	61
Tabela 1.6. Produtividade média, massa média, acidez titulável (AT), sólidos solúveis (SS) e a relação SS/AT dos frutos do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular; e IP: irrigação plena em Bom Jesus da Lapa - BA e Jaíba - MG.	63
Tabela 2.1. Lâmina de irrigação total aplicada e precipitação efetiva nos diferentes tratamentos durante a condução do experimento (janeiro/2016 a maio/2017), em Bom Jesus da Lapa, Bahia.	79
Tabela 2.2. Médias da concentração interna de carbono (C_i) e da relação concentração interna de carbono e a concentração de carbono atmosférico (C_a) (C_i/C_a) do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular; e IP: Irrigação Plena, Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil.	86
Tabela 2.3. Water footprint (irrigação + precipitação, WF_{I+P}) e eficiência agrônômica do uso da água (EAU_{I+P}) do mamoeiro cultivado sob PRD, IF e IP, considerando a lâmina de irrigação total aplicada mais a precipitação efetiva durante o período de condução do experimento em Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil.	94

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

A - Fotossíntese
ABA - Ácido abscísico
AD - Água disponível
AF - Área foliar
ANA - Agência Nacional de Águas
AT - Acidez titulável
AOAC - Association of Official Analytical Chemists
BSh - Clima quente de caatinga
°C - Grau Celsius
cm³ - Centímetros cúbico
Ci - Concentração interna de CO₂
CO₂ - Dióxido de carbono
CV - Coeficiente de variação
d - Dia
DAT - Dias após o transplântio
DAP - Dias após o plantio
DPV_{ar} - Déficit de pressão de vapor do ar
DPV_{folha-ar} - Déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar
E - Transpiração
EAUA - Eficiência agronômica do uso de água
EAUA_{altura} - Eficiência agronômica do uso de água no crescimento em altura
EIUA - Eficiência intrínseca no uso da água
ENOS - Oceano Pacífico Tropical
ETc - Evapotranspiração da cultura
ETo - Evapotranspiração de referência
EPAMIG - Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
f - Limite inferior de água disponível
FAO - Food and Agriculture Organization
g - Grama
g_s - Condutância estomática
h - Hora
ha - Hectare

I – Irrigação
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IF - Irrigação fixa
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
IP - Irrigação plena
IRGA - Analisador de Gás Infravermelho
Kc - Coeficiente de cultura
Kg - Kilograma
kPa - Kilopascal
Kl - Fator de localização
L - Comprimento do lóbulo central
L - Litro
LB - Lâmina bruta
m - Metro
m³ – Metro cúbico
Mha - Milhões de hectares
ml - Mililitro
mm - Milímetro
min - Minuto
Mg - Megagrama
mg - Miligrama
N - Norte
Ns - Não significativo
OMM – Organização Meteorológica Mundial
P - Precipitação
PP - Precipitação pluvial
PAS - Porcentagem de área sombreada
PRD - Partial rootzone drying
PROD - Produtividade
RFA - Radiação fotossinteticamente ativa
S - Sul
SS - Sólidos solúveis
TCA - Taxa de crescimento em altura
TCD - taxa de crescimento em diâmetro

TDR - Reflectometria no domínio do tempo

TIFF - Tagged Image File Format

TSM - Temperaturas da Superfície do Mar

VA - Volume aplicado

VTA - Volume total aplicado

W - Oeste

WF- Water footprint

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

% - Percentagem

μg - Micrograma

θ_{at} - Umidade atual

θ_{cc} - Umidade correspondente a capacidade de campo

θ_{pm} - Umidade correspondente ao ponto de murcha permanente

μ - Micro

* - Significativo

SUMÁRIO

1. Introdução geral	20
2. Revisão de literatura	23
2.1. Secas e mudanças climáticas no Nordeste brasileiro	23
2.2. O mamoeiro (<i>Carica papaya</i> L.)	25
2.3. Necessidades hídricas do mamoeiro	27
2.4. Déficit hídrico: efeitos nas trocas gasosas e na capacidade fotossintética do mamoeiro	29
2.5. A técnica do secamento parcial do sistema radicular	31
3. Referências.....	34
4. CAPÍTULO 1 - Cultivo do mamoeiro (<i>Carica papaya</i> L.) sob secamento parcial da zona radicular em condições semiáridas	44
Resumo	44
Abstract.....	45
4.1. Introdução	46
4.2. Material e métodos.....	47
4.2.1. Experimento BA	47
4.2.2. Experimento MG	49
4.2.3. Irrigação	51
4.2.4. Tratos culturais	52
4.2.5. Características avaliadas	53
4.2.6. Análise estatística	54
4.3. Resultados e discussão.....	55
4.3.1. Comportamento hídrico do solo	55
4.3.2. Crescimento do mamoeiro	58
4.3.3. Sistema radicular do mamoeiro	60
4.3.4. Produção e qualidade dos frutos do mamoeiro	62
4.4. Conclusões	65
4.5. Referências.....	66
5. CAPÍTULO 2 - Secamento parcial da zona radicular do mamoeiro cultivado em campo: trocas gasosas, fotossíntese líquida e eficiência do uso da água.	70
Resumo	70
Abstract.....	71
5.1. Introdução	72
5.2. Material e Métodos	74

5.2.1. Experimento.....	74
5.2.2. Manejo da irrigação	75
5.2.3. Parâmetros micrometeorológicos	77
5.2.4. Tratos culturais	78
5.2.5. Avaliações biométricas	79
5.2.6. Mensurações fisiológicas.....	80
5.2.7. Colheita.....	80
5.2.8. Análise estatística	81
5.3. Resultados	81
5.3.1. Água no solo	81
5.3.2. Fotossíntese líquida, condutância estomática, eficiência quântica da fotossíntese (A/RFA) e produtividade.....	83
5.3.3. Variação das trocas gasosas das 8 horas para as 13 horas.....	87
5.3.4. Taxa de crescimento em altura e diâmetro do caule, e eficiência agrônômica do uso de água em altura (EAUA _{altura}).....	90
5.3.5. Pegada hídrica, eficiência intrínseca do uso da água e eficiência agrônômica do uso da água	92
5.4. Discussão dos resultados	94
5.4.1. Mamoeiro x disponibilidade de água no solo	94
5.4.2. Efeito do PRD nas trocas gasosas foliares.....	95
5.4.3. Efeito do PRD no uso da água.....	97
5.5. Conclusões	99
5.6. Referências.....	100
6. Considerações finais	105

1. Introdução geral

A agricultura irrigada no Brasil e no mundo apresenta um histórico de desenvolvimento persistente e crescente nas últimas décadas, encontrando-se muitas vezes na contramão de períodos negativos e instáveis da economia de algumas regiões ou países. Estima-se que em apenas 20% das terras agriculturáveis a agricultura irrigada é responsável pela produção de 40% dos alimentos consumidos no mundo. Apesar dos inúmeros benefícios potenciais que a agricultura irrigada proporciona, como por exemplo, o aumento da produtividade na ordem de 2 a 3 vezes em relação à agricultura de sequeiro, este setor é considerado o maior e mais dinâmico consumidor de água no mundo, o que impõe inúmeros desafios para o gerenciamento dos recursos hídricos (ANA, 2017 e 2020). A agricultura irrigada consome mais de dois terços das captações de água doce no mundo. No Brasil as áreas irrigadas consomem cerca de $30 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ (FAO, 2016).

O consumo de água pela agricultura irrigada no mundo vem sendo intensificada em virtude dos avanços nas técnicas de engenharia de irrigação, uso da água sem critérios técnicos pelos irrigantes e devido aos efeitos das mudanças climáticas (McDonald e Girvetz, 2013; Riediger et al., 2014; Zhao et al., 2015). Nas últimas duas décadas, os impactos relacionados às mudanças climáticas globais sob as plantas tem sido o foco das principais pesquisas do setor agrícola no mundo. Visto que, essas mudanças climáticas podem promover redução da produtividade das principais culturas agrícolas atuais e, desta forma, comprometer a disponibilidade de alimentos para uma população humana cada vez maior. Dentre os cenários de mudanças previstos, encontra-se o aumento da temperatura e dos episódios de secas severas, principalmente na região semiárida do Brasil (Marengo et al., 2011).

Nas regiões onde a magnitude de perdas de água pela transpiração das plantas e pela evaporação do solo é superior à precipitação pluvial, leva a predominância de déficit hídrico em algumas épocas do ano, como é o caso da região semiárida do Brasil (Marengo et al., 2011). Em virtude desse déficit hídrico, associado à baixa disponibilidade hídrica nos mananciais, a agricultura irrigada no semiárido nos últimos anos vem passando por uma forte competição pelo uso da água com outros setores, como geração de energia, uso doméstico, uso industrial, dessedentação animal e entre outros (ANA, 2017).

Embora exista essa forte competição pelo uso da água com os demais setores, a agricultura irrigada na região semiárida é considerada a força motriz para produção de alimentos (frutas, hortaliças, cereais), emprego e renda em muitos municípios no semiárido brasileiro (Castro, 2018), como por exemplo, nos municípios de Bom Jesus da Lapa – BA e

Jaíba – MG. Nesses municípios encontram-se dois grandes projetos públicos de irrigação, o Projeto do Formoso e o Projeto de Jaíba, geridos pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (Codevasf). A principal atividade agrícola nesses projetos de irrigação é a fruticultura irrigada, com destaque para produção de banana, manga, citros e mamão. Apesar da importância socioeconômica da cultura do mamoeiro nesses municípios, ainda não se tem um número significativo de trabalhos científicos sobre essa cultura na região semiárida, principalmente levando em consideração os aspectos morfológicos, fisiológicos e produtivos, associados aos efeitos da limitação hídrica do solo e do ar. Vale ressaltar que a seca de 2012-2017 impactou significativamente na disponibilidade hídrica nesses dois perímetros de irrigação, estabelecendo a interrupção do fornecimento de água para os pomares de mamoeiro em alguns dias da semana no ano de 2016, fato este conhecido como o “Dia do Rio”.

No Brasil, o mamoeiro é cultivado em praticamente todo território nacional, no entanto a sua produção comercial se concentra principalmente na Bahia, com 9,03 mil hectares, no Espírito Santo, com 6,1 mil hectares, no Ceará, com 2,6 mil hectares, no Rio Grande do Norte, com 1,8 mil hectares e em Minas Gerais, com 1,3 mil hectares. Em 2018, a produção brasileira de mamão superou 1,06 milhões de toneladas em 27,25 mil hectares (IBGE, 2019).

A partir do terceiro ou quarto mês após o plantio do mamoeiro, as fases de crescimento, floração e maturação dos frutos ocorrem simultaneamente. Assim, em virtude desse intenso desenvolvimento, para alcançar um excelente potencial produtivo, o mamoeiro exige durante todo o ciclo um suprimento adequado e constante de água (Coelho et al., 2011). Essa necessidade hídrica torna a irrigação imprescindível nas áreas produtoras de mamão no semiárido brasileiro, já que existe uma predominância de déficit hídrico acentuado e/ou má distribuição temporal e espacial de chuvas. Portanto, diante dessas condições, torna-se necessário a adoção de estratégias de irrigação que visem à maximização do uso racional da água e, por fim, a sustentabilidade dos recursos hídricos.

Dentre as estratégias de manejo de irrigação que potencializam o uso racional da água, a técnica do secamento parcial do sistema radicular (“partial rootzone drying”, PRD) tem sido relatada como promissora para o aumento da eficiência do uso de água em diversas culturas, por exemplo, na cultura da bananeira (Coelho et al., 2019; Santos et al., 2017), citricultura (Santos et al., 2016; Consoli et al., 2017) e dentre outras. A técnica PRD consiste em irrigar apenas a metade do sistema radicular por um período pré-estabelecido, enquanto a outra metade do sistema radicular é mantida sob secamento. Teoricamente, as raízes que estão

submetidas ao déficit de água no solo produzem ácido abscísico (ABA), e este fitormônio é transportado via xilema para a parte aérea da planta. O aumento da concentração do ABA nas folhas ocasionará um fechamento parcial dos estômatos e diminuirá as perdas de água para atmosfera (Shahnazari et al., 2007; El-Sadek, 2014). Apesar dos inúmeros trabalhos com a técnica PRD com diferentes culturas, a definição da frequência do lado irrigado para as condições semiáridas em pomares de frutíferas, como é o caso do mamoeiro, ainda é considerada um dos gargalos do conhecimento que envolve essa técnica. Existem também lacunas no conhecimento sobre a interação entre os níveis de potenciais ou umidade do solo e a redução da absorção de água na zona radicular ou na transpiração das folhas, e os possíveis impactos sobre produtividade do mamoeiro.

O êxito da técnica PRD está diretamente associado com a frequência de alternância do lado irrigado e a porcentagem de redução da lâmina de irrigação aplicada. Portanto, a compreensão dos efeitos desses dois componentes (frequência de alternância x redução da lâmina de irrigação) sobre a disponibilidade hídrica no solo, crescimento do sistema radicular e da parte aérea, trocas gasosas e a capacidade fotossintética, contribuirão na escolha da melhor estratégia PRD para o mamoeiro em áreas irrigadas. Além disso, como se espera que as condições de seca se tornem mais frequente em todo o mundo devido às mudanças climáticas, uma melhor compreensão dos efeitos do déficit hídrico sobre as relações fisiológicas do mamoeiro será de extrema importância para manutenção da produtividade desta cultura em condições de limitação de água no solo (Campostrini et al., 2018).

Diante das incertezas decorrentes das mudanças climáticas, a importância econômica da irrigação e a carência de informações técnicas precisas sobre o uso da técnica do secamento parcial da zona radicular em áreas produtoras de mamão no semiárido, o presente estudo teve como objetivos:

1. Avaliar os efeitos da técnica do secamento parcial da zona radicular sobre o comportamento hídrico do solo, crescimento, produtividade e qualidade dos frutos do mamoeiro (*Carica papaya* L.) cultivado na região semiárida da Bahia e de Minas Gerais.
2. Estudar os efeitos da técnica do secamento parcial da zona radicular sobre as variáveis fisiológicas, e as influências dessas variáveis sobre o crescimento, a produtividade e o consumo de água do mamoeiro cultivado nas condições edafoclimáticas do semiárido da Bahia, Brasil.

2. Revisão de literatura

2.1. Secas e mudanças climáticas no Nordeste brasileiro

O Nordeste Brasileiro abrange nove Estados da Federação, com área territorial de 1.600.000 km², com 62% da sua área correspondente ao Polígono das Secas e uma região semiárida de 940.000 km² que enfrenta um problema crônico de falta de água e precipitação abaixo de 800 mm ano⁻¹ (Marengo, 2010). A escassez hídrica não atinge toda região Nordeste do Brasil, ela se concentra na área conhecida como Polígono das Secas, que envolve as regiões semiáridas de parte de oito estados nordestinos (Bahia, Alagoas, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe) e a parte norte do estado de Minas Gerais (Marengo et al., 2016). Aproximadamente 24 milhões de pessoas vivem no semiárido brasileiro, o que equivale a 12% da população nacional (IBGE, 2017).

Historicamente, a Região Nordeste sempre foi afetada por grandes secas. Alguns relatos de secas na região podem ser encontrados desde o século XVII, quando os portugueses chegaram à região (Marengo et al., 2011). A história das secas na região Nordeste devido às baixas precipitações pode ser resumida na seguinte lista (anos): 1583, 1603, 1624, 1692, 1711, 1720, 1723-1724, 1744-1746, 1754, 1760, 1772, 1766-1767, 1777-1780, 1784, 1790-1794, 1804, 1809, 1810, 1816- 1817, 1824-1825, 1827, 1830-1833, 1845, 1877-1879, 1888-1889, 1891, 1898, 1900, 1902-1903, 1907, 1915, 1919, 1932-1933, 1936, 1941-1944, 1951-53, 1958, 1966, 1970, 1976, 1979-1981, 1982-1983, 1992-1993, 1997-1998, 2001-2002, 2005, 2007, 2010 e 2012-2017 (Araújo, 1982; Gutierrez et al., 2014; Wilhite et al., 2014; Marengo et al., 2016; Marengo et al., 2017).

As variações interanuais da precipitação do Nordeste, em especial, na região semiárida, estão relacionadas à variabilidade do Oceano Pacífico Tropical (ENOS) em relação a duas situações: Pacífico frio (La Niña) correspondente a anos com excesso de chuva e Pacífico quente (El Niño) correspondendo aos eventos de seca (Kousky et al., 1984). O El Niño caracteriza-se pela alteração nos padrões das Temperaturas da Superfície do Mar (TSM), ou seja, aumento da TSM e alteração nos padrões dos ventos alísios no Pacífico Equatorial Tropical. Já o fenômeno La Niña caracteriza-se por apresentar um resfriamento das TSMs do Oceano Pacífico Equatorial (Ropelewski e Halpert, 1987,1989).

Os eventos de El Niño e La Niña causam impactos sobre a precipitação do Nordeste principalmente na quadra chuvosa (fevereiro a maio) (Xavier, 2001; Xavier et al., 2003). No entanto, as anomalias das precipitações no Nordeste não estão relacionadas apenas a

variabilidade do ENOS. Alguns estudos indicam que o Oceano Atlântico Tropical desempenha um papel significativo na chuva do Nordeste (Marengo et al., 2010).

Em um estudo realizado por Kane (1997) em 46 eventos de El Niño (fortes e moderados), durante 1849-1992, apenas em 21 anos foram associados com as secas no Nordeste do Brasil. Levando em consideração as mais recentes secas (1992, 1998, 2002, 2010 e 2012-2015), apenas as de 1998, 2002 e 2015 aconteceram durante um evento El Niño (Marengo et al., 2016). Outros eventos de seca são originados devido a uma posição anormalmente mais ao norte da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o setor do Atlântico, devido ao Oceano Atlântico Tropical Norte mais quente (Hastenrath, 2012; Andreoli et al., 2012; Marengo et al., 2013).

Segundo Trenberth et al. (2007), globalmente é observado a diminuição dos totais pluviométricos anuais nas áreas tropicais entre 10S e 10N. As projeções globais e regionais de mudanças climáticas indicam que o semiárido brasileiro será afetado pelo déficit de precipitação e pelo aumento da aridez na segunda metade do século XXI (Vieira et al. 2013). A variabilidade da precipitação, a degradação do solo e o aumento da aridez podem levar à desertificação, tornando esta região uma das mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas no mundo (Marengo et al., 2017). Com base nas projeções do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), a região Nordeste do Brasil sofrerá um decréscimo entre 10% e 20% da precipitação e aumento de 0,5 a 1 °C da temperatura do ar durante as próximas três décadas (até 2040), com diminuição entre 25% e 35% nos padrões de chuva no período de 2041-2070 (Marengo et al., 2011).

O semiárido é considerado o espaço geográfico mais vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas e desertificação no Brasil, compreendendo 11,53% do território nacional, predominantemente na região nordeste (56,46%). Essas regiões possuem regime de chuvas irregularmente distribuídas no tempo e no espaço, com precipitações em torno de 800 mm ao ano, concentradas em períodos de três a cinco meses. A evapotranspiração potencial é de 2.000 mm ano⁻¹, apresentando balanço hídrico negativo em grande parte do ano (Lima et al., 2011).

Portanto, com base no histórico de secas e nas projeções sobre as mudanças climáticas no semiárido brasileiro, torna-se necessário a realização de trabalhos científicos que levem ao desenvolvimento de estratégias de manejo de irrigação que maximizem o uso racional da água pela agricultura irrigada. Esses trabalhos são necessários principalmente nos grandes polos de agricultura irrigada, como exemplos, o Distrito de Irrigação do Formoso, em Bom Jesus da Lapa – BA e o Distrito de Irrigação de Jaíba, no Norte de Minas Gerais.

2.2. O mamoeiro (*Carica papaya* L.)

A espécie *Carica papaya* L. pertence à classe das Dicotiledôneas, ordem Violales, família Caricaceae e ao gênero *Carica*. Dentro do gênero *Carica* existe duas sessões: a *Carica*, com uma espécie (*Carica papaya*), e a *Vasconcellea*, formada por 20 espécies (Badillo, 1993). Apesar do desconhecimento do exato centro de origem da espécie *Carica papaya*, acredita-se que essa espécie seja originária da América Central, especificamente do Sul do México e da Nicarágua (Crane, 2005).

O mamoeiro possui sistema radicular do tipo pivotante com ramificações radiais. Em um estudo sobre a distribuição do sistema radicular do mamoeiro 'Tainung 01' cultivado sob Argissolo Amarelo de Tabuleiro Costeiro, na Bahia, Souza et al. (2016) verificaram que cerca de 93% das raízes encontravam-se na profundidade de 0,60 m na linha e de 0,40 m na entrelinha, em um raio de 0,50 m da planta. Já a profundidade efetiva do sistema radicular desse mesmo genótipo, para fins de cálculo de lâmina de irrigação e instalação de sondas para mensuração de umidade do solo, encontra-se no intervalo de 0 - 0,45 m, sob irrigação localizada (Coelho et al., 2005).

O mamoeiro é considerado uma planta de crescimento rápido e contínuo, podendo atingir 9 m de altura (Campostrini et al., 2010). Possui caule verde, oco, ereto, semilenhoso e raramente ramificado (Ming et al., 2007). Embora seja considerado uma erva gigante (Malo & Campbell, 1986), o mamoeiro encontra-se com um volume de lignina acumulado na parede celular em nível intermediário entre o *Populus* sp. e a *Arabidopsis thaliana*, o que leva a concluir que a espécie *Carica papaya* L. se encontra em processo evolutivo de uma planta herbácea para uma planta lenhosa (Campostrini et al., 2018).

As folhas do mamoeiro são simples e alternadas com grandes limbos foliares, podendo atingir até 0,7 m de diâmetro. Essas folhas possuem lâminas orbiculares ou ovais, profundamente palmatilobadas, com sete a onze nervuras principais e longos pecíolos (Martins e Costa, 2003). O longo pecíolo associado à inserção das folhas em espiral ao longo do caule permite que a distribuição da radiação fotossinteticamente ativa seja mais eficiente (Ferraz et al., 2016), uma vez que a inserção da folha nesse formato evita o autosombreamento. Dependendo das condições edafoclimáticas e da disponibilidade hídrica, a longevidade de uma folha de mamoeiro pode variar de 2,5 a 8 meses (Campostrini et al., 2018). Na região dos Tabuleiros Costeiros do Recôncavo Baiano a área foliar do mamoeiro cultivar Tainung 1 apresentou um crescimento contínuo até 370 dias após o plantio. Já nas

condições de clima semiárido, esse mesmo genótipo apresentou um aumento da área foliar até 230 dias após o plantio (Coelho et al., 2011).

O mamoeiro é considerado uma planta trióica, podendo apresentar três tipos de sexo: plantas femininas, masculinas ou hermafroditas. As flores do mamoeiro podem apresentar-se em grandes aglomerados (plantas masculinas) nas axilas das folhas ou isoladamente (plantas femininas e hermafroditas) (Marler et al., 1994). As variedades comerciais do mamoeiro podem ser ginodióicas, com plantas femininas e hermafroditas, ou dióicas, com plantas femininas e masculinas (Yu et al., 2008).

Por ser uma fruteira tropical, os grandes cultivos comerciais de mamoeiro estão restritos a áreas tropicais e subtropicais, já que as baixas temperaturas nas regiões de clima temperado podem impactar negativamente na produtividade. No entanto, nos últimos anos vem sendo destacado um interesse pelo cultivo do mamoeiro em áreas mais frias (Campostrini et al., 2018), por exemplo, na Argentina, Espanha, Israel, Japão e Austrália (Silva et al., 2019). O mamoeiro possui um bom desenvolvimento vegetativo e produtivo em locais com temperaturas na faixa de 25 a 27 °C e umidade relativa do ar variando de 60 a 85%.

Em condições de déficit hídrico do solo, temperatura superior a 28 °C e umidade relativa do ar inferior a 60%, o mamoeiro pode sofrer queda de flores, redução na taxa de crescimento da área foliar, da altura e do diâmetro do caule, impactando assim negativamente na produtividade dessa fruteira (Coelho et al., 2011). Quando cultivado sob baixa temperatura, as flores do mamoeiro das plantas hermafroditas sofrem redução do número de estames. Além disso, a antera se funde com os carpelos, dando origem a frutos deformados (Ming et al., 2008), os quais não possuem valor comercial. Portanto, em cultivos comerciais, recomenda-se o desbaste desses frutos logo após o seu surgimento.

O mamoeiro possui fruto esférico, periforme ou ovóide, com polpa alaranjada, amarela ou avermelhada (Badillo, 1993). Os frutos do mamoeiro são ricos em propriedades antioxidantes, como por exemplo, flavonóides e carotenos, são fontes de vitaminas A, B1 e C (Hinojosa e Montgomery, 1988), de cálcio (Oliveira et al., 1994), de fibras e sais minerais (Evans e Balen, 2012). Em 100g de polpa de mamão maduro contém em média 60,9 mg de vitamina C e 285 µg de vitamina A (USDA, 2017).

O mamoeiro é considerado uma das mais importantes culturas frutíferas das regiões tropicais e subtropicais (Campostrini et al. 2010). A produção mundial de mamão alcançou cerca de 13,2 milhões de toneladas em 2018. Nesse mesmo ano, as maiores áreas cultivadas com *Carica papaya* concentraram-se nos seguintes países: Índia (138.000 ha), Nigéria (108.368 ha), Bangladesh (28.705 ha) e o Brasil (27.250 ha), com uma produção

de 5.989.000, 833.038, 131.598 e 1.060.392 toneladas, respectivamente. Já em termos de produtividade, a República Dominicana, o El Salvador, a Costa Rica, a Indonésia, o Fiji, a Belize, o México, a China, a Índia e o Brasil alcançaram as maiores produtividades, com 298,1; 103,8; 90,0; 89,5; 80,1; 74,4; 58,0; 48,9; 43,3 e 38,9 toneladas de frutos por hectare, respectivamente (FAO, 2019).

Nos cultivos comerciais no Brasil, as cultivares de mamoeiros mais cultivados pertencem ao grupo Solo e ao grupo Formosa. Dentre os genótipos do grupo Formosa, o mais cultivado é o genótipo ‘Tainung 01’, desenvolvido pela Estação Experimental de Fengshan, em Formosa, na China. O híbrido Tainung 01 é resultante do cruzamento entre Sunrise Solo e uma seleção da Costa Rica que possui polpa vermelha. Os frutos do mamoeiro ‘Tainung 01’ são oblongo-obovados nas plantas femininas e alongados nas plantas hermafroditas, possui boa durabilidade, ótimo sabor, boa resistência ao frio, grande aceitação no mercado interno e peso que varia entre 0,9 e 1,1 kg (Costa e Pacova, 2003).

2.3. Necessidades hídricas do mamoeiro

O mamoeiro é relativamente tolerante à seca, visto que essa espécie é capaz de se ajustar osmoticamente pelo aumento de sódio, cloro e potássio nos tecidos para evitar a desidratação (Mahouachi et al., 2006). A necessidade hídrica do mamoeiro varia de acordo com as condições climáticas locais, com a fase do desenvolvimento vegetativo da planta e com a variedade cultivada (Coelho et al., 2003; Vincent et al., 2015). Nos cultivos submetidos à elevada demanda evapotranspirométrica, ou seja, alta temperatura e déficit de pressão de vapor, o consumo de água do mamoeiro pode variar de 7 a 8 mm d⁻¹, já em baixa demanda evapotranspirométrica o consumo de água pode variar de 2 a 4 mm d⁻¹ (Coelho et al., 2011).

A lâmina de reposição da evapotranspiração do mamoeiro pode ser estimada por métodos via solo ou via clima. No manejo da irrigação via clima, a evapotranspiração da cultura é calculada em função do produto da evapotranspiração de referência (ET_o) e o coeficiente de cultura (K_c). O coeficiente de cultura expressa os efeitos fenológicos (fase do desenvolvimento), morfológicos (tamanho da área foliar) e fisiológicos (intensidade metabólica) da planta sobre o seu consumo de água (Perreira et al., 2013). Ao determinar os coeficientes de cultura do mamoeiro Híbrido UENF/CALIMAN01, Posse et al. (2007) observaram que o valor do K_c variou linearmente de 0,63 até 1,05, do transplântio até 206 dias após o transplântio (DAT). Além disso, após esse período, a variação do K_c relacionou-

se inversamente com o diâmetro de copa do mamoeiro, reduzindo-se ao valor médio mínimo de 0,81, aos 300 DAT.

Em um estudo nas condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Costeiros do Recôncavo Baiano, sobre a frequência e o nível de irrigação que condicionam melhor desenvolvimento e produtividade para o mamoeiro cultivar Sunrise Solo, Coelho et al. (2010) verificaram que os coeficientes de cultura que resultaram maiores produtividades e eficiência no uso da água foram de 0,31, 0,42, 0,52 e 0,84 para 0-30 dias após o plantio (DAP), 31-60 DAP, 61-120 DAP e acima de 120 DAP, respectivamente. Nessas mesmas condições edafoclimáticas, os coeficientes de cultura do mamoeiro ‘Tainung 1’ que resultaram em maior produtividade física do mamoeiro, associado à maior eficiência de uso de água, foram de 0,38; 0,51; 0,64 e 1,02 para 0-30 DAP, 31-60 DAP, 61-120 DAP e acima de 120 DAP, respectivamente (Coelho e Simões, 2010).

Estudando os efeitos da interação entre a lâmina de água aplicada e a frequências de aplicação em um pomar de mamoeiro cultivar Sunrise Solo Line 72/12, Silva et al. (2001) observaram um crescimento linear da produtividade com o aumento da lâmina de água aplicada. Além disso, esses autores relataram que o peso médio dos frutos praticamente não foi afetado pelo intervalo entre as irrigações. Estudando a influência da irrigação no rendimento e nos componentes de produção do mamoeiro do grupo Formosa, híbrido Know you Seed, Garcia et al. (2007) verificaram que as variáveis de produção melhoraram com o aumento das lâminas de irrigação. Nesse mesmo estudo, a máxima produção média por planta, peso médio de frutos e a produtividade foram de 98,37 Kg planta⁻¹, 0,89 kg fruto⁻¹ e 38,98 ton ha⁻¹, respectivamente, obtido no tratamento 100% da evaporação do tanque Classe “A”, correspondente à lâmina de irrigação de 1770 mm.

A escassez e o aumento do consumo de água pelos seus múltiplos usos levaram ao surgimento do termo pegada hídrica ou “Water footprint” em muitos trabalhos de pesquisas (Nouri et al., 2019). O termo pegada hídrica é um indicador do uso da água que leva em consideração todos os bens e serviços desempenhados por um indivíduo ou indivíduos. Na agricultura esse termo vem sendo utilizado para quantificar o consumo de água necessário para produzir um quilograma do produto colhido, sendo considerados dois componentes: a pegada hídrica verde, que se refere à evapotranspiração da água da chuva, e a pegada hídrica azul, que se refere à evapotranspiração da água proveniente da irrigação (Hoekstra, 2017).

Em uma área comercial de mamoeiro Golden no norte do Espírito Santo, cultivado no espaçamento de 1,5 m x 3,6 m (1852 plantas ha⁻¹) e irrigado por gotejamento, Lima et al. (2015) observaram que a pegada hídrica foi de 220 L H₂O kg⁻¹ de mamão produzido,

considerando a lâmina de irrigação total aplicada mais o volume da precipitação pluviométrica durante o primeiro ano de cultivo. Já levando em consideração apenas a precipitação pluviométrica, a pegada hídrica reduziu para a 80 L H₂O kg⁻¹ de mamão produzido.

Em ambiente protegido nas Ilhas Canárias, o mamoeiro Formosa cultivado sob densidade populacional de 1600 plantas por ha⁻¹, irrigado por gotejamento e com produção média de 60 kg por planta, apresentou uma pegada hídrica de 100 L H₂O kg⁻¹ de mamão produzido (Campostrini et al., 2018). Ainda segundo esses autores, em média a pegada hídrica do mamoeiro nessa região da Espanha pode variar de 75 a 125 L H₂O kg⁻¹ de mamão produzido.

2.4. Déficit hídrico: efeitos nas trocas gasosas e na capacidade fotossintética do mamoeiro

Os principais efeitos do déficit hídrico do solo sobre as plantas variam em função de diversos fatores, tais como a intensidade do déficit hídrico, a velocidade de imposição e o estágio fenológico em que a planta se encontra (Kramer e Boyer, 1995). As plantas têm desenvolvido mecanismos para enfrentar a baixa disponibilidade de água no solo, seja tolerando ou evitando (Xu e Leskovar, 2014; Rowland et al., 2012) por meio de modificações na histologia, morfologia externa e na fisiologia (Dickison, 2000).

Os estômatos das plantas são fundamentais na regulação das trocas gasosas (Taiz & Zaiger, 2013). A depender das condições do ambiente, do nível de água na planta e no solo, os estômatos podem permanecer abertos, parcialmente ou totalmente fechados. A redução da condutância estomática é uma das respostas mais rápidas ao déficit hídrico (Schroeder et al., 2001), resultando assim em diminuição da transpiração (Campostrini et al., 2018; Lima et al., 2015). O fechamento dos estômatos nas folhas do mamoeiro quando cultivado sob déficit hídrico tem sido relacionado ao aumento da concentração de ácido abscísico nas folhas e nas raízes (Mahouachi et al., 2007).

Em condições de déficit hídrico do solo, o ácido abscísico (ABA) é considerado o principal sinalizador interno na planta que induz ao fechamento dos estômatos (McAdam e Brodribb, 2016; McAdam et al., 2016). Sintetizado nos plastídios e no citosol das raízes e brotações (Pantin et al., 2013; Daszkowska-Golec e Szarejko, 2013), o ácido abscísico promove duas respostas fisiológicas nas plantas quando condicionadas ao déficit hídrico. Primeiro, diminuindo a permeabilidade da bainha do feixe vascular à água (Pantin et al.,

2013; Negin e Moshelion, 2016) e, em seguida, ocasiona uma série de reações nas células-guarda, levando a redução da abertura estomática (Daszkowska-Golec e Szarejko, 2013).

O déficit hídrico do solo, associado ao déficit de pressão de vapor do ar (DPVar), altera vários processos bioquímicos e fisiológicos, induzindo assim respostas metabólicas e fisiológicas como o fechamento dos estômatos, acúmulo de substâncias antioxidantes e solutos (Singh-Sangwan et al., 1994). Os resultados dos trabalhos desenvolvidos por Maouachi et al. (2007), Campostrini e Glenn (2007), Campostrini et al. (2010) e Lima et al. (2016) revelaram uma alta sensibilidade dos estômatos do mamoeiro ao déficit hídrico do solo, principalmente em situações de elevadas demandas evapotranspirométricas.

A condutância estomática do mamoeiro geralmente sofre reduções significativas quando a tensão de água no solo atinge valores de -50 a -60 kPa (Marler e Mickelbart, 1998). Em um experimento cultivando mamoeiro em vasos de 30L, Lima et al. (2015) observaram que um aumento na tensão da água no solo de -10 para -50 kPa causou uma redução de 66% na condutância estomática. De acordo com Aiyelaadgbe et al. (1986), em condições de campo, o limite crítico de umidade do solo para o cultivo do mamoeiro é -200 kPa.

Trabalhando com sondas de reflectometria no domínio do tempo (TDR) para determinar a umidade do solo em um pomar de mamoeiro, Mahouachi et al. (2007) verificaram que 20% da umidade do solo era considerada ótima para o crescimento e produção do mamoeiro. E quando a umidade do solo passou para 10% houve redução na condutância estomática, no comprimento da nervura central das folhas e no número de folhas. Portanto, a depender da intensidade e duração, o déficit hídrico do solo pode promover diminuição da condutância estomática, intercedida por sinais hidráulicos e não-hidráulicos (Campostrini et al., 2010; Mahouachi et al., 2007) que, por sua vez, poderá repercutir em diminuição na taxa fotossintética do mamoeiro (Campostrini et al., 2010).

Os efeitos negativos do déficit hídrico sobre os processos fotossintéticos do mamoeiro dependem do horário do dia, tamanho da planta (Marler e Mickelbart, 1998), da quantidade de nuvens no céu e da temperatura do ar (Reis e Campostrini, 2008). Dependendo do nível de radiação que a folha recebe, a temperatura foliar pode aumentar cerca de 4 a 5 °C acima da temperatura ambiente (Maggiotto, 1996), ou indiretamente, via fechamento estomático, causado por meio da elevação no déficit de pressão de vapor (Campostrini et al., 2010).

Em condições de campo, Marler e Mickelbard (1998) observaram que a fotossíntese do mamoeiro com 6 meses de idade reduziu 50% quando a tensão de água no solo passou de -20 para -68 kPa. Tanto nesse estudo (Marler e Mickelbard, 1998), bem como no trabalho desenvolvido por Reis e Campostrini (2008), os autores verificaram que o déficit hídrico de

água no solo promoveu uma maior redução na taxa fotossintética nos dias sem nuvens do que em dias nublados, principalmente devido a fatores estomáticos.

2.5. A técnica do secamento parcial do sistema radicular

Diante do aumento da área irrigada e da escassez dos recursos hídricos, a busca por estratégias de manejo de irrigação que maximize o uso racional da água pelas culturas agrícolas sempre foi o assunto de interesse em diversos trabalhos de pesquisa (Coelho et al., 2019; Lima et al., 2015; Pérez-Pérez et al., 2018; Lamaoui et al., 2018). Com base no acervo dos trabalhos científicos sobre agricultura realizados nas últimas décadas, uma das estratégias de manejo de irrigação que vem sendo apontada como uma alternativa promissora para o aumento da eficiência do uso de água pelas culturas em condições áridas ou semiáridas é a técnica do secamento parcial do sistema radicular (*Partial rootzone drying* - PRD) (Lima et al., 2015 e 2016; Coelho et al., 2019; Santos et al., 2016).

A técnica do secamento parcial do sistema radicular foi estudada pela primeira vez nos Estados Unidos da América, por Grimes et al. (1968), em um cultivo de algodão irrigado por sulcos alternados. Em seguida, usando irrigação por superfície e por gotejamento, Sepaskhah et al. (1976) aplicaram o conceito da técnica PRD em um cultivo de feijoeiro no Irã. A partir da década de 90, segundo Kriedemann e Goodwin (2003) os pesquisadores John Possingham e Brian Loveys começaram, na Austrália, as primeiras investigações da técnica PRD na cultura da videira.

Desde os primeiros estudos (Grimes et al., 1968; Sepaskhah et al., 1976; Loveys et al., 1997) até os mais recentes (Parvizi et al., 2016; Pérez-Pérez et al., 2018; Coelho et al., 2019), a técnica PRD têm mostrado que é possível reduzir a lâmina de irrigação aplicada para as culturas e manter a produtividade em um patamar agronomicamente satisfatório, mesmo com alguns impactos no desenvolvimento vegetativo das plantas. A técnica PRD consiste na alternância do lado irrigado do sistema radicular, ou seja, enquanto parte do sistema radicular é irrigada, a outra parte é submetida ao déficit hídrico do solo. A teoria defendida é que as raízes do lado submetido à irrigação mantêm um conteúdo de água favorável à planta, enquanto que as raízes expostas ao déficit hídrico do solo produzem sinais químicos (ácido abscísico - ABA), os quais são transportados para as folhas via fluxo transpirométrico, levando a redução da abertura dos estômatos e do crescimento vegetativo, com aumento da eficiência do uso de água (Liu et al., 2007; Shahnazari et al., 2007; El-Sadek, 2014).

A frequência de alternância do lado irrigado nos cultivos submetidos à técnica do secamento parcial do sistema radicular deve ser estabelecida em função do tipo de solo e da

exigência hídrica da cultura (Ahmadi et al., 2010a; Consoli et al., 2014), bem como com base na temperatura e demanda evapotranspirométrica local. Embora não exista ainda um consenso entre os pesquisadores sobre qual frequência de alternância do lado irrigado deve ser utilizada nos cultivos em PRD, as mais utilizadas são as de 7, 14 e 21 dias (Kang e Zang, 2004; Coelho et al., 2019).

Em condições de elevada condutância estomática (g_s) ocorre uma saturação nos valores de fotossíntese (A), e a relação entre a A e g_s é não linear (Düring et al., 1996; Morison et al., 2008). Desta forma, um fechamento parcial dos estômatos a partir da g_s máxima irá reduzir a perda de água por meio da transpiração, mantém a taxa fotossintética a níveis satisfatórios (Kang e Zhang, 2004) e aumenta a eficiência do uso de água pela cultura. Assim, sob cultivo em PRD, a depender das condições hídricas do solo e do ar, as plantas podem restringir a perda de água e ao mesmo tempo manter a taxa fotossintética a níveis semelhantes de plantas irrigadas com 100% da evapotranspiração da cultura.

Os efeitos da técnica do secamento parcial do sistema sobre as características fisiológicas e agronômicas das culturas hortícolas e árvores frutíferas, vem sendo relatados desde em condições de casa de vegetação (Lima et al., 2015), bem como em condições de campo (Coelho et al., 2019; Pérez-Pérez et al., 2018; Consoli et al., 2017). Os resultados apresentados em grande parte dos trabalhos com a técnica PRD variam de acordo com as diferenças entre as espécies estudadas e com as características específicas de cada experimento, por exemplo, condições climáticas, tipo de solo e manejo da cultura. Alguns estudos mostraram que as plantas submetidas à técnica do secamento parcial da zona radicular apresentaram maior sinalização do ABA, maior crescimento do sistema radicular e acúmulo de nitrogênio, quando comparadas com as plantas submetidas apenas ao déficit hídrico para uma mesma lâmina de irrigação (Mingo et al., 2004; Dodd et al., 2008; Wang et al., 2010).

Estudos com tomateiro (Campos et al., 2009), macieira (Zegbe e Behboudian, 2008), batata (Ahmadi et al., 2010b), pimenta (Kang et al., 2001), milho (Du et al., 2010), parreira (Du et al., 2008a), batata (Ahmadi et al., 2010b) e algodoeiro (Du et al., 2008b) mostraram que as taxas fotossintéticas das plantas cultivadas sob a técnica PRD não foram reduzidas quando comparadas com as plantas submetidas a irrigação plena (100% ETc). No entanto, outros trabalhos mostraram que o PRD pode diminuir a taxa fotossintética líquida (Liu et al., 2006; Shao et al., 2010; Yuan et al., 2013). De acordo com Zegbe e Behboudian (2008) esses contrastes de resultados estão diretamente relacionados ao uso de diferentes espécies e as condições climáticas dos locais onde foram conduzidos os experimentos.

Santos et al. (2016) utilizaram a técnica PRD em um pomar de lima ácida 'Tahiti', *Citrus latifolia*, com cinco anos de idade, com plantas espaçadas de 7 x 5 m, na Fazenda Experimental de Mocambinho, na EPAMIG, em Jaíba-MG. Os autores observaram que a produtividade da lima ácida é mantida com irrigação alternada a cada sete dias e PRD de 50% da evapotranspiração da cultura (ETc), em relação à irrigação plena (100% da ETc).

Avaliando os efeitos da técnica PRD sobre a qualidade dos frutos da macieira 'Golden Delicious' na colheita e na pós-colheita, Zegbe et al. (2011) revelaram que o déficit hídrico do solo via técnica PRD não prejudica a qualidade dos frutos na colheita e após o armazenamento sob temperatura ambiente (13-18°C e 51-56% de umidade relativa). Além disso, o manejo da irrigação sob a técnica PRD economizou cerca de 3240m³ de água por hectare. Em outro estudo, Zegbe e Behboudian (2008) relataram que o PRD não afetou o rendimento da macieira e a qualidade dos frutos; e melhorou a eficiência pelo uso da água em 120%.

Lima et al. (2015) ao cultivarem mamoeiro 'Grand Golden' submetido à técnica PRD em condições de campo e em casa de vegetação no estado do Espírito Santo, verificaram que um déficit hídrico de 30% no tratamento em PRD não reduziu significativamente o crescimento vegetativo e os componentes de produção (pese médio (g) fruto⁻¹, kg fruto ha⁻¹, kg fruta planta⁻¹). Já nas condições de casa de vegetação, o mamoeiro diminuiu a produção de matéria seca da parte aérea e da raiz no tratamento em PRD com redução de 50% da lâmina de irrigação. Nesse mesmo estudo, os autores observaram que não houve diferença significativa entre os tratamentos para a variável eficiência instantânea do uso de água (A/E) nas condições de cultivo em casa de vegetação, e para a variável eficiência agrônômica do uso de água (Kg fruto L⁻¹ e número de fruto L⁻¹) no cultivo nas condições de campo.

3. Referências

- AHMADI, S.H.; ANDERSEN, M.N.; PLAUBORG, F.; POULSEN, R.T.; JENSEN, C.R., SEPASKHAH, A.R.; HANSEN, S. Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: Yield and water productivity. *Agricultural Water Management*, v. 97, p.1923-1930, 2010a. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.07.007>
- AHMADI, S.H.; ANDERSEN, M.N.; PLAUBORG, F.; POULSEN, R.T.; JENSEN, C.R.; SEPASKHAH, A.R.; HANSEN, S. Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: Gas exchange and xylem [ABA]. *Agricultural Water Management*, v.97, p.1486-1494, 2010b. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.05.002>
- ANA (Agência Nacional de Águas), 2017. Atlas irrigação: Uso da água na agricultura irrigada, Brasília, DF, Brasil, <https://www.ana.gov.br> (acessado em 16 maio de 2019).
- ANA (Agência Nacional de Águas), 2020. Estimativas de evapotranspiração real por sensoriamento remoto no Brasil, Brasília, DF, Brasil, <https://www.ana.gov.br> (acessado em 14 janeiro de 2020).
- AIYELAADGBE, I.O.Q.; FALUSI, M.O. A.; BABALOLA, O. Growth, development and yield of pawpaw (*Carica papaya* L.). ‘Homestead selection’ in response to soil moisture stress. *Plant and Soil*, v.96, p.427-435, 1986. <https://doi.org/10.1007/BF02374293>
- ANDREOLI, R.; DE SOUZA, F.; KAYANO, M.T.; CANDIDO, L.A. Seasonal anomalous rainfall in the central and eastern Amazon and associated anomalous oceanic and atmospheric patterns. *International Journal of Climatology*, v. 32, p.1193–1205, 2012. <https://doi.org/10.1002/joc.2345>
- ARAUJO, J. *Barragens no Nordeste do Brasil: Experiência do DNOCS em Barragens na Região Semiárida*. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. Ministério do Interior. p.158, 1982.
- BADILLO, V. M. Caricacea – Segundo Esquema. *Revista de La Facultad de Agronomía da la Univ. Central de Venezuela*. Maracay, 64p, 1993.
- CAMPOS, H.; TREJO, C.; PENA VALDIVIA, B.C.; RAMIREZ-AYALA, C.; SANCHEZ-GARCIA, P. Effect of partial rootzone drying on growth, gas exchange, and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientia Horticulturae*, v.120, p.493-499, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.12.014>
- CAMPOSTRINI, E.; GLENN, D.M. Ecophysiology of papaya: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.19, p.413–424, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400010>
- CAMPOSTRINI, E.; GLENN, D.M.; YAMANISHI, O.K. Papaya: ecophysiology of growth and production. In: *Ecophysiology of tropical tree crops*. Damatta, F. Nova Science Publishers, NY, 2010, p.287-307.
- CAMPOSTRINI, E.; SCHAFFER, B.; RAMALHO, J.D.C.; GONZÁLEZ, J. C.; RODRIGUES, W. P.; SILVA, J. R.; LIMA, R. S. N. Environmental factors controlling

carbon assimilation, growth, and yield of papaya (*Carica papaya* L.) under water-scarcity scenarios. In: TEJERO, I.F.G.; ZUAZO, V.H.D (Org). *Water Scarcity and Sustainable Agriculture in Semiarid Environment*. London: Academic Press, 2018.<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813164-0.00019-3>

CASTRO, C.N. *Sobre a agricultura irrigada no semiárido: uma análise histórica e atual de diferentes opções de política*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, 2018, 56p.

COELHO, E. F.; SANTOS, M. R.; COELHO FILHO, M. A. Distribuição de raízes de mamoeiro sob diferentes sistemas de irrigação localizada em latossolo de tabuleiros costeiros. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 27, n. 1, p.175-178, 2005.<https://doi.org/10.1590/S0100-29452005000100047>

COELHO, E.F.; SANTOS, M.R.; DONATO, S.L.R.; CRUZ, J.L.; OLIVEIRA, P.M.; CASTRICINI, A. Soil-water-plant relation ship and fruit yield under partial root-zone drying irrigation on banana crop. *Scientia Agricola*. v.76, p.362-367, 2019.<http://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2017-0258>

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, A. M. G.; SILVA, J. G. F.; COELHO FILHO, M. A.; CRUZ, J. L. Irrigação e Fertirrigação na cultura do mamão. In: SOUZA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (Org.). *Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças*. 1ed., Brasília, 2011, p.442-472.

COELHO, E. F.; SIMÕES, W. L.; LIMA, D. M. de. Crescimento e produtividade do mamoeiro cultivar Sunrise solo sob irrigação nos tabuleiros costeiros da Bahia. *Magistra*, v.22, p.96-102, 2010.

COELHO, E. F.; SIMÕES, W. L. Produtividade do mamoeiro, cultivar Tainung N 1, sob diferentes manejos de irrigação nos tabuleiros costeiros do Nordeste. *Magistra*, v. 22, p. 35-40, 2010.

CONSOLI, S.; STAGNO, F.; VANELLA, D.; BOAGA, J.; CASSIANI, G.; ROCCUZZO, G. Partial root-zone drying irrigation in orange orchards: Effects on water use and crop production characteristics. *European Journal of Agronomy*, v.82, p.190-202, 2017.<https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.11.001>

CONSOLI, S.; STAGNO, F.; ROCCUZZO, G.; CIRELLI, G.; INTRIGLIOLO, F. Sustainable management of limited water resources in a young orange orchard. *Agricultural Water Management*. v. 132, p.60-68, 2014.<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.10.006>

COSTA, A. F. S.; PACOVA, B. E. V. Caracterização de cultivares, estratégias e perspectivas do melhoramento genético do mamoeiro. In: Martins, D. S.; Costa, A. F. S. (ed.), *A cultura do mamoeiro: Tecnologia e Produção*. Vitória, ES: INCAPER, 2003, 497p.

CRANE, J.H. *Papaya growing in the Florida Home Landscape*. University of Florida. IFAS Extension. 2005, 8p.

- DASZKOWSKA-GOLEC, A.; SZAREJKO, I. Open or close the gate - stomata action under the control of phytohormones in drought stress conditions. *Frontiers Plant Science*, v.4, p.1-16, 2013.[doi:10.3389/fpls.2013.00138](https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00138)
- DICKISON, W.C. *Integrative Plant Anatomy*. USA, Academic Press, 2000, 533p.
- DODD, I.C.; EGEE, G.; DAVIES, W.J. ABA signalling when soil moisture is heterogeneous: decreased photoperiod sap flow from drying roots limits ABA export to the shoots. *Plant, Cell and Environment*, v.31, p.1263–1274, 2008.<https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2008.01831.x>
- DU, T.; KANG, S.; ZHANG, J.; LI, F.; YAN, B. Water use efficiency and fruit quality of table grape under alternate partial root-zone drip irrigation. *Agricultural Water Management*, v.95, p.659-668, 2008a.<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.01.017>
- DU, T., KANG, S.; ZHANG, J.; LI, F. Water use and yield responses of cotton to alternate partial root-zone drip irrigation in the arid area of north-west China. *Irrigation Science*, v.26, p.147-159, 2008b.<https://doi.org/10.1007/s00271-007-0081-0>
- DU, T.; KANG, S.; SUN, J.; ZHANG, X.; ZHANG, J. An improved water use efficiency of cereals under temporal and spatial deficit irrigation in north China. *Agricultural Water Management*, v.97, p.66-74, 2010.<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.08.011>
- EL-SADEK, A. Water use optimization based on the concept of partial root zone drying. *Ain Shams Engineering Journal*, v.5, p.55-62, 2014.<https://doi.org/10.1016/j.asej.2013.09.004>
- EVANS, E. A. ; BALLEEN, F. H. *An Overview of Global Papaya Production, Trade and Consumption*. Electronic Data Information Source (EDIS) FE981. University of Florida, Gainesville. 2012.
- FAO - Water Withdrawal by Sector, Around 2007. AQUASTAT Database.<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=en>. Acesso em: 10 de dezembro de 2019.
- FERRAZ, T.M.; RODRIGUES, W.P.; TORRES NETTO, A.; REIS, F.O.; PEÇANHA, A.L.; FIGUEIREDO, F.A.M.M.A, SOUSA E.F.;GLENN, D.M.; CAMPOSTRINI, E. Comparison between single-leaf and whole-canopy gas exchange measurements in papaya (*Carica papaya* L.) plants. *Scientia Horticulturae*. v.209, p.73–78, 2016.<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.06.014>
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2017. Censo Demográfico. Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br>.
- IBGE. 2019. Sidra: Produção Agrícola Municipal. May 2019. <https://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 14 setembro de 2018.
- GARCIA, F. C. H.; BEZERRA, F. M. L.; FREITAS, C. A. S. Níveis de irrigação no comportamento produtivo do mamoeiro Formosa na Chapada do Apodí, CE. *Revista Ciência Agronômica*, v. 38, p.136-141, 2007.

- GRIMES, D.W.; WALHOOD, V.T.; DICKENS, W.L. Alternate furrow irrigation for San Joaquin valley cotton. *California Agriculture*, v.22, p.4–6, 1968.
- GUTIÉRREZ, A.P.A.; ENGLE, N.L.; DE NYS, E.; MOLEJON, C.; MARTINS, E.S. Drought preparedness in Brazil. *Weather and Climate Extremes*, p.95-106, 2014.<https://doi.org/10.1016/j.wace.2013.12.001>
- HASTENRATH, S. Exploring the climate problems of Brazil's Nordeste: a review. *Climatic Change*, p.243-251, 2012.<https://doi.org/10.1007/s10584-011-0227-1>
- HINOJOSA, R. L.; MONTGOMERY, M. W. Industrialização do mamão: aspectos químicos e tecnológicos da produção de purê asséptico. In: *Simpósio sobre acultura do mamoeiro*. Jaboticabal, FCAV/UNESP, 1988, p.89-110.
- HOEKSTRA, A.Y. Water footprint assessment: evolvement of a new research field. *Water Resources Management*, v.31, p.3061–3081, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1618-5>
- KANE, R.P. Prediction of droughts in Northeast Brazil: Role of ENSO and use of periodicities. *International Journal of Climatology*, p.655–665,1997.
- KANG, S. Z.; ZHANG, J. Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. *Journal of Experimental Botany*, v. 10, p.1-10, 2004.<https://doi.org/10.1093/jxb/erh249>
- KANG, S.; ZHANG, L.; XIAOTAO, H.; LI, Z.; JERIE, P. An improved water use efficiency for hot pepper grown under controlled alternate drip irrigation on partial roots. *Scientia Horticulture*, v. 89, p.257-267, 2001.[https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(00\)00245-4](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(00)00245-4)
- KOUSKY, V. E.; KAYANO, M; CAVALCANTI, I.F.A.A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *TELUS*, p.490-504, 1984.<https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.1984.tb00264.x>
- LAMAOU, M.; CHAKHCHAR, A.; KHARRASSI, Y.; WAHBI, S.; MODAFAR, C. Morphological, physiological, and biochemical responses to water stress in melon (*Cucumis melo*) subjected to regulated deficit irrigation (RDI) and partial rootzone drying (PRD). *Journal Crop Science Biotechnology*, v.21, p.407-416, 2018.<https://doi.org/10.1007/s12892-018-0122-0>
- LIMA, R. S. N.; FIGUEIREDO, F. A. M. M.; MARTINS, A. O.; DEUS, B. C. S.; FERRAZ, T. M.; GOMES, M. M. A.; SOUSA, E. F.; GLENN, D. M.; CAMPOSTRINI, E. Partial rootzone drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) effects on stomatal conductance, growth, photosynthetic capacity, and water-use efficiency of papaya. *Scientia Horticulturae*, v. 183, p. 13-22, 2015.<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.12.005>
- LIMA, R.S.N.; GARCÍA-TEJERO, I.; LOPES, T.S.; COSTA, J.M.; VAZ, M.; DURÁN-ZUAZO, V.H.; CHAVES, M.; GLENN, D.M.; CAMPOSTRINI, E. Linking termal

imaging to physiological indicators in *Carica papaya* L. under different watering regimes. *Agricultural Water Management*, v.164, p.148-157, 2016.<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.07.017>

LIMA, R.C.C.; CAVALCANTE, A.M.B.; MARIN, A.M.P. *Desertificação e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro*.(Ed). Instituto Nacional do Semiárido - INSA, Campina Grande, 2011, 209p.

LIU, F.; SAVIC, S.; JENSEN, C.R.; SHAHNAZARI, A.; JACOBSEN, S.E.; STIKIC, R., ANDERSEN, M.N. Water relations and yield of lysimeter-grown strawberries under limited irrigation. *Scientia Horticulturae*, v.111, p.128–132, 2007.<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.10.006>

LIU, F.; SHAHNAZARI, A.; ANDERSEN, M.N.; JACOBSEN, S.E.; JENSEN, C.R. Effects of deficit irrigation (DI) and partial root drying (PRD) on gas exchange, biomass partitioning, and water use efficiency in potato. *Scientia Horticulturae*, v.109, p.113–117, 2006.<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.04.004>

LOVEYS, B.R.; GRANT, J. DRY, P.R.; MC CARTHY, M. Progress in the development of partial rootzone drying. *Austral J. Grape & Wine Res.*, v. 40, p.18–20, 1997.[DOI:10.17660/ActaHortic.2004.664.12](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.664.12)

MAGGIOTO, S. R. *Estimativa da evapotranspiração de referência pelo uso da termometria ao infravermelho*. Piracicaba, SP: Esalq-USP, 1996, p. 71.

MAHOUACHI, J.; ARBONA, V.; GÓMEZ-CADENAS, A.G. Hormonal changes in papaya seedlings subjected to progressive water stress and re-watering. *Plant Growth Regul.*, v.53, p.43-5, 2007.<https://doi.org/10.1007/s10725-007-9202-2>

MAHOUACHI, J.; SOCORRO, A.R.; TALON, M. Responses of papaya seedlings (*Carica papaya* L.) to water stress and re-hydration: growth, photosynthesis and mineral nutrient imbalance. *Plant and Soil*, v.281, p.137-146, 2006.<https://doi.org/10.1007/s11104-005-3935-3>

MALO, S.E. ; CAMPBELL, C.W. *The papaya*. University of Florida, Cooperative Extension Service Fruits Crops Fact Sheet FC-11. Gainesville, 1986.

MARLER, T.E.; GEORGE, A.P.; NISSEN, R.J.; ANDERSSON, P.C. Miscellaneous tropical fruits. In: Schaffer, B. & Andersson, P.C. (eds.). *Handbook of environmental physiology of fruits crops. V.II: Sub-tropical and tropical crops*. Florida, CRC Press, 1994, p.199-224.

MARLER, T.E.; MICKELBART, M.V. Drought, leaf gas exchange, and chlorophyll fluorescence of field grown papaya. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.123, 714-718, 1998.<https://doi.org/10.21273/JASHS.123.4.714>

MARENGO J. A.; ALVES, LINCOLN, M.; BESERRA, E.; LACERDA, F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: Salomão de Sousa Medeiros, Hans Raj

Gheyi, Carlos de Oliveira Galvão, Vital Pedro da Silva Paz. (Org.). *Recursos Hídricos em Regiões Áridas e Semiáridas*. Campina Grande, PB: INSA, 2011, p.383-416.

- MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. . A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. *Revista Climánálise*, v.1, p. 49-54, 2016.
- MARENGO, J.A.; ALVES, L.M.; SOARES, W.R.; RODRIGUEZ, D.A.; CAMARGO, H.; RIVEROS, M.P.; PABLÓ, A.D. Two Contrasting Severe Seasonal Extremes in Tropical South America in 2012: Flood in Amazonia and Drought in Northeast Brazil. *Journal of Climate*, p.9137-9154, 2013.<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00642.1>
- MARENGO, J. A.; CHOU, S. C.; BETTS, R.; KAY, G.; ALVES, L. M.; TORRES, R.; SANTOS, D. Development of regional climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: Part 1. Climatology and regional analyses for the Amazon. São Francisco and the Parana River Basins, *Climate Dynamics*, 2010.
- MARENGO J.A., TORRES, R.R., ALVES, L.M. Seca no Nordeste do Brasil - passado, presente e futuro. *Theoretical and Applied Climatology*, v.129, p.1189–1200, 2017.<https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>
- MARTINS, D.S.; COSTA, A. F. *A cultura do mamoeiro*. Tecnologia de Produção. Vitória: INCAPER. 2003, 497p.
- MCADAM, S.A.M.; BRODRIBB, T.J. Linking turgor with ABA biosynthesis: implications for stomatal responses to vapor pressure deficit across Land plants. *Plant Physiology*, v.171, p.2008–2016, 2016.<https://doi.org/10.1104/pp.16.00380>
- MCADAM, S.A.M.; BRODRIBB, T.J.; ROSS, J.J. Shoot-derived abscisic acid promotes root growth. *Plant Cell and Environment*, v.39, p.652–659, 2016.<https://doi.org/10.1111/pce.12669>
- MCDONALD, R.I.; GIRVETZ, E.H. Two challenges for U.S. irrigation due to climate change: increasing irrigated area in wet states and increasing irrigation rates in dry states. *PLOS ONE*, v.8, e65589, 2013. DOI: [10.1371/journal.pone.0065589](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065589)
- MING R., HOU S.; FENG Y.; YU Q.; DIONNE-LAPORTE A.; SAW J.HH, *et al.* The draft genome of the transgenic tropical fruit tree papaya (*Carica papaya* Linnaeus).*Nature*, v. 452, p. 991-997, 2008.<https://doi.org/10.1038/nature06856>
- MING, R.; YU, Q.; MOORE, P.H. Sex determination in papaya. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, v.18, p.401-408, 2007.<https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2006.11.013>
- MINGO, D.M.; THEOBALD, J.C.; BACON, M.A.; DAVIES, W.J.; DODD, I.C. Biomass allocation in tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants grown under partial rootzone drying: enhancement of root growth. *Functional Plant Biology*, v.31, p.971–978, 2004.<https://doi.org/10.1071/FP04020>

- MORISON, J.I.L.; BAKER, N.R.; MULLINEAUX, P.M.; DAVIES, W.J. Improving water use in crop production. *Philosophical Transactions of the Royal Society (London)*, v.363, p.639-658, 2008. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2175>
- NEGIN, B.; MOSHELION, M. The evolution of the role of ABA in the regulation of water-use efficiency: from biochemical mechanisms to stomatal conductance. *Plant Science*, v.251, p.82-89, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.05.007>
- NOURI, H.; STOKVIS, B.; GALINDO, A.; BLATCHFORD, M.; HOEKSTRA, A.Y. Water scarcity alleviation through water footprint reduction in agriculture: The effect of soil mulching and drip irrigation. *Science of the Total Environment*, v.653, p.241-252, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.311>
- OLIVEIRA, A. M. G.; FARIAS, A. R. N.; SANTOS FILHO, H. P.; OLIVEIRA, J. R. P.; DANTAS, J. L. L.; SANTOS, L. B.; OLIVEIRA, M. A.; SILVA, M. J.; ALMEIDA, O. A.; NICKEL, O.; MEDINA, V. M.; CORDEIRO, Z. J. M. *Mamão para exportação: aspectos técnicos da produção*. Brasília, EMBRAPA – SPI (Série de publicações técnicas FRUTEX, 9), 1994, 52p.
- PANTIN, F.; MONNET, F.; JANNAUD, D.; COSTA, J.M.; RENAUD, J.; MULLER, B.; SIMONNEAU, T.; GENTY, B. The dual effect of abscisic acid on stomata. *New Phytologist* v.197, p.65-72, 2013. <https://doi.org/10.1111/nph.12013>
- PARVIZI, H.; SEPASKHAH, A.R.; AHMADI, S.H. Effect of drip irrigation and fertilizer regimes on fruit yields and water productivity of a pomegranate (*Punica granatum* (L.) cv. Rabab) orchard. *Agricultural Water Management*.v.146, p.45-56, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.005>
- PEREIRA, A.R.; SEDIYAMA, G.C.; NOVA, N.A.V. *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: FEALQ, 2013, 183 p.
- PÉREZ-PÉREZ, J.G.; NAVARROA, J.M.; ROBLES, J.M.; DODD I.C. Prolonged drying cycles stimulate ABA accumulation in *Citrus Macrophylla* seed lings exposed to partial rootzone drying. *Agricultural Water Management*, v.210, p.271-278, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.020>
- POSSE, R. P.; BERNARDO, S.; SOUSA, E. F.; GOTTARDO, R. D. Evapotranspiração e coeficiente da cultura do mamoeiro. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.681-690, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162008000400008>
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.
- TRENBERTH, K. E. *et al.* Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: Solomon, S. D. et al. (Ed.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom, New York: Cambridge University Press, 2007.
- RIEDIGER, J.; BRECKLING, B.; NUSKE, R.S.; SCHRÖDER, W. Will climate change increase irrigation requirements in agriculture of Central Europe? A simulation study

- for Northern Germany. *Environmental Sciences Europe*, v.26, p.1-13, 2014. <https://doi.org/10.1186/s12302-014-0018-1>
- REIS, F.O.; CAMPOSTRINI E. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica potencial em mamoeiro do grupo 'Formosa' cultivado em condição de campo. *Bragantia*, p.815-822, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000400002>
- ROWLAND, D.L.; FAIRCLOTH, W.H.; PAYTON, P.; TISSUE, D.T.; FERRELL, J.A.; SORENSEN, R.B.; BUTTS, C.L. Primed acclimation of cultivated peanut (*Arachis hypogaea* L.) through the use of deficit irrigation timed to crop developmental periods. *Agricultural Water Management*, v.113, p.85-95, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.06.023>
- ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillations. *Monthly Weather Review*, v.115, p.1606-1626, 1987. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1987\)115<1606:GARSPP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1987)115<1606:GARSPP>2.0.CO;2)
- ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. S. Precipitation Patterns Associated with the High Index Phase of the Southern Oscillation. *Journal of Climate*, v. 2, p. 268-284, 1989. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1989\)002<0268:PPAWTH>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1989)002<0268:PPAWTH>2.0.CO;2)
- SANTOS, M. R.; DONATO, S. L. R; COELHO, E. F.; ARANTES, A. M.; COELHO FILHO, M. A. Irrigação lateralmente alternada em lima ácida 'Tahiti' na região norte de Minas Gerais. *Irriga*, v.1, p.71-88, 2016. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n01p71-88>
- SANTOS, M.R.D.; RODRIGUES, S.L.D.; ARANTES, A.DM.; COELHO, E.F.; OLIVEIRA, P.M.D. Gas exchange in 'BRS Princesa' banana (*Musa* spp.) under partial rootzone drying irrigation in the north of Minas Gerais, Brazil. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.66, p.378-384, 2017. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v66n3.55056>
- SCHROEDER, J. I.; ALLEN, G. J.; HUGOUVIEUX, V.; KWAK, J. M.; AND WANER, D. Guard cell signal transduction. *Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology*, v.52, p.627-658, 2001. <http://doi.org/10.1146/annurev.arplant.52.1.627>
- SILVA, J. R.; RODRIGUES, W. P.; RUAS, K.F.; PAIXÃO, J.S.; ROBERTA, S. N. de L.; MACHADO FILHO, J. A.; GARCIA, J.A.C.; SCHAFFER, B.; GONZÁLEZ, J. C.; CAMPOSTRINI, E. Light effects on photosynthetic capacity and growth of papaya (*Carica papaya* L.): a short review. *Australian Journal of Crop Science*, v. 13, p.480-485, 2019. [doi: 10.21475/ajcs.19.13.03.p1607](https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.03.p1607)
- SILVA, J. G. F; FERREIRA, P. A.; COSTA, L. C.; MELENDES, R. R. V., CECOM, P. R. Efeitos de diferentes lâminas e frequências de irrigação sobre a produtividade do mamoeiro, *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 23, p.597-601, 2001.
- SINGH-SANGWAN, N.; FAROOQI, A H.A; SINGH-SANGWAN, R. Effect of drought stress on growth and essential oil metabolism in lemongrasses. *New Phytologist*, v. 128, p. 173- 179, 1994. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1994.tb04000.x>

- SHAO, G.; LIU, N.; ZHANG, Z.; YU, S.; CHEN, C. Growth, yield and water use efficiency response of greenhouse-grown hot pepper under time-space deficit irrigation. *Scientia Horticulturae*, v.126, p.172–179, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.07.003>
- SOUZA, L. D.; SOUZA, L. da S.; LEDO, C. A. da S.; CARDOSO, C. E. L. Distribuição de raízes e manejo do solo em cultivo de mamão nos Tabuleiros Costeiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, p.1937-1947, 2016. [DOI:10.1590/S0100-204X2016001200004](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016001200004)
- USDA - United States Department of Agriculture, 2017. Disponível em: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2305?manu=&fgcd=&ds>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2018.
- VIEIRA, R.M.S.P.; CUNHA, A.P.M.A.; ALVALÁ, R.C.S.; CARVALHO, V.C.; FERRAZ NETO, S.; SESTINI, M.F. Mapa de uso e cobertura da terra de uma região semiárida do Brasil para modelos meteorológicos e climáticos. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.28, p.129-138, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000200002>
- VINCENT, C.; ROWLAND, D.L.; SCHAFFER, B. The potential for primed acclimation in papaya (*Carica papaya* L.): Determination of critical water deficit thresholds and physiological response variables. *Scientia Horticulturae*, v.194, p.344-352, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.032>
- WANG, Y.S.; LIU, F.; ANDERSEN, M.N.; JENSEN, C.R. Improved plant nitrogen nutrition contributes to higher water use efficiency in tomatoes under alternate partial root-zone irrigation. *Functional Plant Biology*, 37, v.175–182, 2010. <https://doi.org/10.1071/FP09181>
- WILHITE D.A.; SIVAKUMAR, M.V.K.; PULWARTY, R. Managing drought risk in a changing climate: The role of national drought policy. *Weather and Climate Extreme*, p.4–13, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2014.01.002>
- YUAN, J.; XU, M.; DUAN, W.; FAN, P.; LI, S. Effects of whole-root and half-root water stress on gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in apple trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.138, p.395–402, 2013. <https://doi.org/10.21273/JASHS.138.5.395>
- YU, Q.; HOU, S.; FELTUS, F.A.; JONES, M.R.; MURRAY, J.E.; VEATCH, O.; LEMKE, C.; SAW, J.H.; MOORE, R.C.; THIMMAPURAM, J.; LIU, L.; MOORE, P.H.; ALAM, M.; JIANG, J.; PATERSON, A.H.; MING, R. Low X/Y divergence in four pairs of papaya sex-linked genes. *The Plant Journal*, p.124-132, 2008. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2007.03329.x>
- XAVIER, T. M. B. S. *Tempo de Chuva- Estudos Climáticos e de Previsão para o Ceará e Nordeste Setentrional*, Cap.3 e 6 / Cap.11, ABC Editora, Fortaleza-Ceará, 478 p.103, 2001.
- XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; SILVA-DIAS, M. A. F.; SILVA-DIAS, P. L. Interrelações entre Eventos ENOS (ENSO), a ZCIT (ITCZ) no Atlântico e a Chuva nas

Bacias Hidrográficas do Ceará. *Revista Brasileira Recursos Hídricos*, v. 8, p.111-126. 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

XU, C.; LESKOVAR, D.I. Growth, physiology and yield responses of cabbage to deficit irrigation. *Horticulturae Scientia*, v.41, p.138–146, 2014.<https://doi.org/10.17221/208/2013-HORTSCI>

ZHAO, G.; WEBBER, H.; HOFFMANN, H.; WOLF, J.; SIEBERT, S.; EWERT, F. The implication of irrigation in climate change impact assessment: a European-wide study. *Global Change Biology*.v.21, p.4031–4048, 2015.<https://doi.org/10.1111/gcb.13008>

ZEGBE, J.A.; SERNA-PÉRE, A. Partial rootzone drying maintains fruit quality of ‘Golden Delicious’ apples at harvest and postharvest. *Scientia Horticulturae*, v.127, p. 455–459, 2011.<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.10.022>

ZEGBE, J.A.; BEHBOUDIAN, M.H. Plant water status, CO₂ assimilation, yield, and fruit quality of 'Pacific Rose™' apple under partial rootzone drying. *Horticultural Ciência*, v. 22, p.27-32, 2008.<https://www.jstor.org/stable/42882607>

4. CAPÍTULO 1 - Cultivo do mamoeiro (*Carica papaya* L.) sob secamento parcial da zona radicular em condições semiáridas

Resumo

Estratégias de manejo da irrigação que visam reduzir o consumo hídrico pelas culturas agrícolas, sem perder qualidade e quantidade dos produtos colhidos, devem ser buscadas e mais bem compreendidas. A técnica do secamento parcial da zona radicular (PRD) é relevante e contribui na maximização do uso racional da água pela fruticultura irrigada, principalmente em regiões que apresentem déficit, como as semiáridas. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da técnica do PRD sobre o comportamento hídrico do solo e nas características agronômicas do mamoeiro (*Carica papaya* L.). O estudo foi realizado na região semiárida da Bahia (BA) e de Minas Gerais (MG), Brasil. Os tratamentos foram constituídos de uma testemunha (Irrigação Plena - IP) e na percentagem de redução de 50 e 35% da lâmina bruta (LB) com frequências de alternância do lado irrigado de 0, 7, 14 e 21 dias. O sistema de irrigação foi o gotejamento e o manejo da irrigação foi realizado via clima. No lado submetido ao secamento por meio da técnica PRD, a água disponível no solo reduziu a níveis de 14% para frequência de alternância do lado irrigado de 7 dias, 20% para 14 dias e de 55% para 21 dias, quando comparada a água disponível no solo correspondente a umidade crítica para o mamoeiro. O déficit hídrico parcial no solo, ocasionado pela técnica do PRD, não promoveu reduções significativas no comprimento total das raízes, na profundidade efetiva e na distância horizontal efetiva do sistema radicular do mamoeiro. A técnica do PRD não comprometeu a qualidade dos frutos do mamoeiro. Em condições de baixa disponibilidade dos recursos hídricos, a técnica do PRD com alternância do lado irrigado de 7 dias e redução de 35% da LB é a mais indicada para o mamoeiro.

Palavras-Chave: *Carica papaya*. Irrigação deficitária. Manejo de irrigação.

Abstract

Irrigation management strategies aiming at reducing water consumption by agricultural crops, without losing quality and quantity of harvested products, should be sought and better understood. The technique of partial rootzone drying (PRD) is relevant and contributes to maximizing the rational use of water in irrigated fruit production, especially in regions with deficit, such as the semiarid ones. The objective of this study was to evaluate the effects of the PRD technique on soil water behavior and on the agronomic characteristics of papaya (*Carica papaya* L.). The study was conducted in the semiarid region of Bahia (BA) and Minas Gerais (MG), Brazil. The treatments consisted of a control (Full irrigation - FU) and reduction percentages of 50 and 35% in the gross irrigation depth (GID) with frequencies of alternation in the irrigated side of 0, 7, 14 and 21 days. A drip irrigation system was used, and irrigation management was based on climatic variables. On the side subjected to drying using the PRD technique, the water available in the soil reduced to levels of 14% for irrigated side alternating frequency of 7 days, 20% for 14 days and 55% for 21 days, when compared to the water available in the soil corresponding to the critical soil moisture for papaya. Partial water deficit in the soil, caused by the PRD technique, did not cause significant reductions in the total root length or in the effective depth and effective horizontal distance of the root system of papaya. The PRD technique did not compromise the quality of papaya fruits. In the treatments submitted to the PRD technique, the highest productivity occurred in the treatments PRD 7 35% (89.933 kg ha⁻¹) and PRD 14 35% (84.453 kg ha⁻¹), with 55.64% and 52.76% above the national average, respectively. Under conditions of low availability of water resources, the PRD technique with alternation of the irrigated side every 7 days and 35% reduction in GID is the most recommended for papaya.

Key words: *Carica papaya*. Deficit irrigation. Irrigation management.

4.1. Introdução

O Brasil está entre os dez países com a maior área equipada para irrigação do mundo (ANA, 2017; Meier et al., 2018). Entre 1960 e 2015 a área irrigada no Brasil aumentou expressivamente, passando de 462 mil hectares para 6,95 milhões de hectares (Mha), e pode expandir mais 45% até 2030, atingindo 10 Mha (ANA, 2017). Entretanto, nos projetos de irrigação públicos ou privados o consumo de água sem critérios técnicos pelos irrigantes tem contribuído negativamente para o uso sustentável dos recursos hídricos (Morais et al., 2018; Coelho et al., 2019). De acordo com a Agência Nacional das Águas, a irrigação é responsável por utilizar cerca de 70% de toda a água doce consumida no mundo (ANA, 2015).

Este cenário aponta para busca urgente de estratégias para o uso racional da água pela agricultura irrigada. A técnica do secamento parcial do sistema radicular (“partial root zone drying”, PRD) vem sendo apontada como uma alternativa para o aumento da eficiência do uso da água em relação aos métodos convencionais de manejo de irrigação (Lima et al., 2016; Lamaoui et al., 2018; Coelho et al., 2019; Zhang et al., 2019). Essa técnica consiste na alternância do lado de irrigação do sistema radicular, ou seja, enquanto uma parte das raízes é irrigada, outra parte fica exposta ao secamento do solo (Lima et al., 2016). De acordo com El-Sadek (2014) o secamento do solo de um lado induz as raízes a produzirem ácido abscísico, que se transloca pelo eixo vascular até as folhas, provocando a redução da abertura estomática e, conseqüentemente, resultando em menor perda de água para atmosfera.

Em condição semiárida da região norte do Iran, Shahabian et al. (2012) verificaram que laranjeiras submetidas à técnica PRD com 50% e 75% da irrigação plena, com alternância do lado a cada evento de irrigação, não sofreram reduções de produtividade e qualidade dos frutos. Consoli et al., (2017) trabalhando em pomar de laranjeira e aplicando lâminas de irrigação de 50% e 100% da ETc, sendo a menor lâmina aplicada no regime PRD, verificaram que essa técnica proporcionou aumento no rendimento de frutos em 20% no ano de 2013 e 10% em 2014.

Apesar dos estudos já realizados, ainda existe uma lacuna no conhecimento em condições específicas de solo, clima e cultura, para disponibilização da técnica PRD aos produtores rurais (Santos et al., 2016; Çolak et al., 2017). Para frutíferas, principalmente para aquelas cultivadas em região semiárida, os resultados de pesquisas científicas são insuficientes para o entendimento e aplicação da técnica PRD. Exemplo disso é o mamoeiro, que apesar do excelente potencial produtivo quando associado à irrigação no semiárido

brasileiro, não existem pesquisas científicas sobre qual melhor manejo da irrigação quando cultivado sob a técnica PRD.

No ano de 2017 a produção brasileira de mamão alcançou 1.057.101 Megagrama (Mg) sendo a região Nordeste a maior produtora (628.404 Mg), seguida pelo Sudeste (368.412 Mg). Na região Nordeste, a Bahia ocupa a primeira posição em produção (368.875 Mg), sendo que desse total, 33% são produzidos em municípios da região semiárida. Já na região Sudeste, Minas Gerais ocupa a quinta posição em produção, sendo que 71,37% da produção são provenientes da região semiárida (IBGE, 2019).

Diante da expressiva produção de mamão na região semiárida, informações técnicas precisas sobre estratégias de manejo de irrigação são relevantes e contribuirá na maximização do uso racional da água pela fruticultura irrigada. Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos da técnica do secamento parcial da zona radicular sobre o comportamento hídrico do solo e no crescimento, produtividade e qualidade dos frutos do mamoeiro (*Carica papaya* L.) cultivado na região semiárida da Bahia e de Minas Gerais.

4.2. Material e métodos

4.2.1. Experimento BA

O experimento foi realizado entre janeiro de 2016 e maio de 2017 e instalado no campo experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IF Baiano), *Campus* Bom Jesus da Lapa - BA, situado na microrregião do Médio São Francisco, com as seguintes coordenadas centrais: 13°15'29.04"S, 43°33'07.4"W e 441 m acima do nível do mar (Figura 1.1). Segundo a classificação de Köppen seu clima é do tipo BSh (clima quente de Caatinga), com chuvas de verão e períodos secos bem definidos no inverno (Alvares et al., 2013).

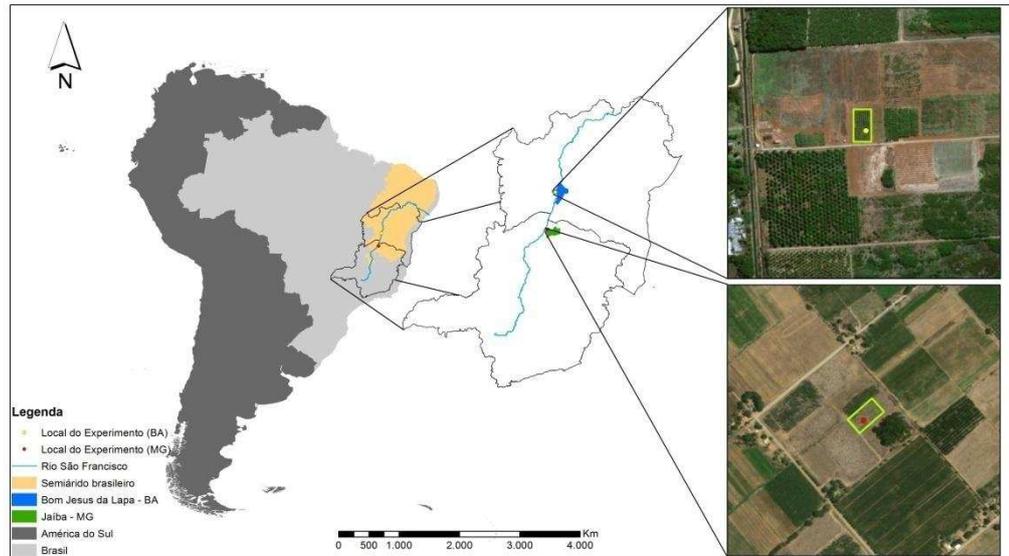


Figura 1.1. Localização dos experimentos nos Estados da Bahia (BA) e Minas Gerais (MG).

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, com classe textural Franco Argilo Arenoso (Embrapa, 2013). A umidade do solo correspondente à capacidade de campo foi de $0,290 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, equivalente a tensão de 10 kPa, e umidade correspondente ao ponto de murcha permanente foi de $0,185 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-3}$ equivalente à tensão de 1.500 kPa. A Tabela 1.1 apresenta a classificação granulométrica do solo da área experimental.

Tabela 1.1. Classificação granulométrica (g kg^{-1}) do solo da área experimental de Bom Jesus da Lapa – BA.

Camada (m)	Ar. muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Ar. muito fina	Areia total	Silte	Argila	Densidade (kg/dm^3)
0,0 - 0,2	7	48	219	194	77	545	156	299	1,47
0,2 - 0,4	7	44	221	199	76	547	133	320	1,55

Ar. – Areia

O material vegetal estudado foi o mamoeiro, cultivar ‘Tainung 01’ do grupo Formosa, transplantado no dia 5 de janeiro de 2016, no espaçamento de 3,8 m x 2,0 m. O experimento seguiu o delineamento em blocos casualizados com nove tratamentos e quatro repetições. Cada parcela foi composta por sete plantas, sendo cinco plantas úteis. Os tratamentos foram baseados na percentagem de redução de 50 e 35% da lâmina bruta (LB) e frequências de alternância do lado irrigado de 0, 7, 14 e 21 dias, sendo que zero de frequência representa aplicação de água em apenas um lado da planta, de forma fixa, durante o ciclo da cultura

(Figura 1.2). Desta forma, foi possível fazer as seguintes combinações: PRD 7 50% - alternância de 7 dias em todo ciclo, com redução de 50% da LB; PRD 7 35% - alternância de 7 dias em todo ciclo, com redução de 35% da LB; PRD 14 50% - alternância de 14 dias em todo ciclo, com redução de 50% da LB; PRD 14 35% - alternância de 14 dias em todo ciclo, com redução de 35% da LB; PRD 21 50% - alternância de 21 dias em todo ciclo, com redução de 50% da LB; PRD 21 35% - alternância de 21 dias em todo ciclo, com redução de 35% da LB; IF 50% - irrigação fixa em um lado da planta com redução de 50% LB; IF 35% - irrigação fixa em um lado da planta com redução de 35% LB; e Controle IP - irrigação plena, ou seja, aplicação de 100% da LB durante todo o ciclo.

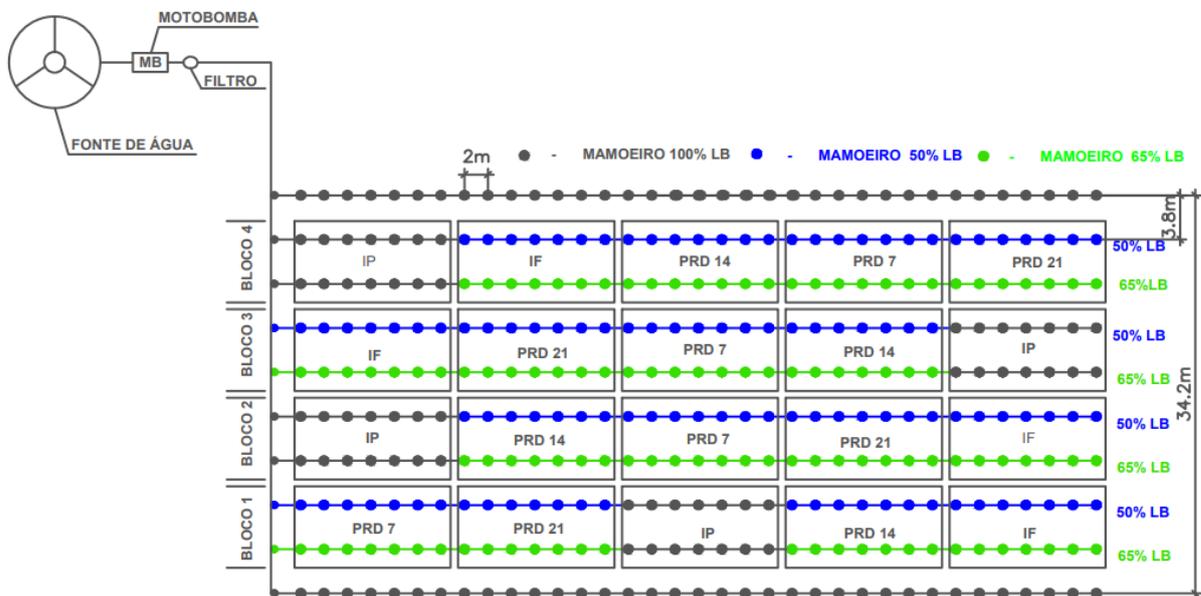


Figura 1.2. Disposição dos tratamentos em campo: PRD 7 – frequência de alternância de 7 dias do lado irrigado, PRD 14 - frequência de alternância de 14 dias do lado irrigado, PRD 21 - frequência de alternância de 21 dias do lado irrigado, IF – Irrigação fixa em um único lado e IP – irrigação plena, ou seja, irrigação simultaneamente nos dois lados (aplicação de 100% da LB).

4.2.2. Experimento MG

O experimento MG foi realizado entre maio de 2016 e setembro de 2017 e instalado no campo experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), no município de Jaíba - MG, situado na região semiárida do Norte de Minas Gerais, com as seguintes coordenadas centrais: 15°07'47.5"S, 43°57'0.51"W e 551 m acima do nível do mar (Fig.1.1). O clima do local do experimento é classificado como BSh de acordo com Köppen-Geiger (Arruda et al., 2013).

O solo da área experimental é de classificação textural Franco Arenoso (Embrapa, 2013), com o teor de água do solo equivalente a capacidade de campo (10 kPa) de $0,205 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e o teor de umidade equivalente ao ponto de murcha permanente (1.500 kPa) de $0,135 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. A classificação granulométrica do solo da área experimental encontra-se na Tabela 1.2.

Tabela 1.2. Classificação granulométrica (g kg^{-1}) do solo da área experimental de Jaíba – MG.

Camada (m)	Ar. muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Ar. muito fina	Areia total	Silte	Argila	Densidade (kg/dm^3)
0,0 - 0,2	8	50	161	269	140	628	51	321	1,35
0,2 - 0,4	10	53	181	308	121	673	51	276	1,50

Ar. - Areia

O mamoeiro (*Carica papaya* L.), cultivar Tainung número 1, do grupo Formosa, foi transplantado no dia 24 de maio de 2016, no espaçamento de 3,8 m x 2,0 m. O experimento seguiu o delineamento em blocos casualizados com 5 tratamentos e 5 repetições. Cada repetição foi composta por sete plantas na linha de plantio, sendo cinco plantas úteis, e entre a repetição considerou-se uma planta como bordadura. As frequências de alternância do lado irrigado foram 0, 7, 14 e 21 dias, sendo que a frequência de alternância zero representa aplicação de água em apenas um lado da planta durante o ciclo de cultivo do mamoeiro (Figura 1.3). Os tratamentos estudados foram: PRD 7 50% - alternância de 7 dias em todo ciclo, com redução de 50% da LB; PRD 14 50% - alternância de 14 dias em todo ciclo, com redução de 50% da LB; PRD 21 50% - alternância de 21 dias em todo ciclo, com redução de 50% da LB; IF 50% - irrigação fixa em um lado da planta com redução de 50% LB; e Controle IP - irrigação plena, ou seja, aplicação de 100% da LB durante todo o ciclo.

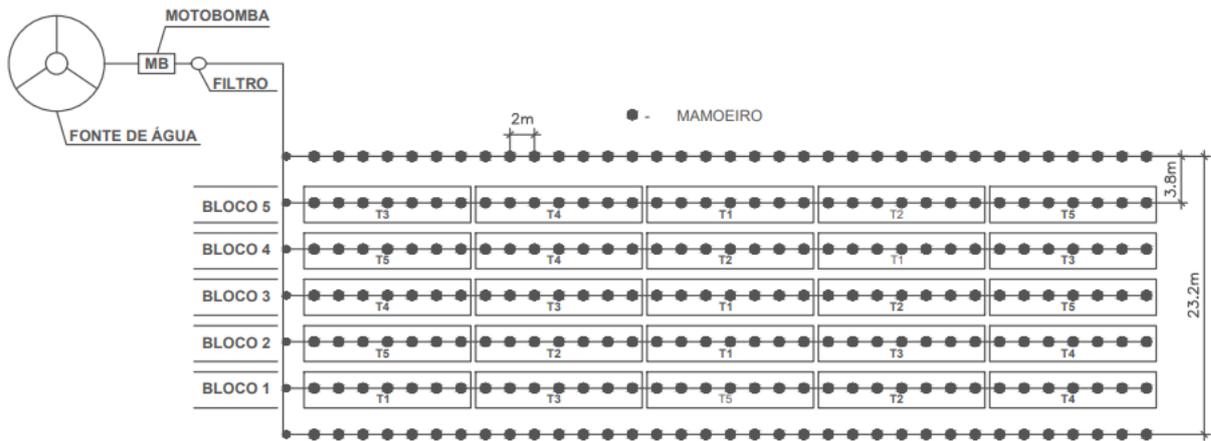


Figura 1.3. Disposição dos tratamentos em campo: T1 – frequência de alternância de 7 dias do lado irrigado (50% LB), T2 - frequência de alternância de 14 dias do lado irrigado (50% LB), T3 - frequência de alternância de 21 dias do lado irrigado (50% LB), T4 – irrigação fixa em um único lado (50% LB) e T5 – irrigação simultaneamente nos dois lados (aplicação de 100% da LB).

4.2.3. Irrigação

O sistema de irrigação adotado nos experimentos BA e MG foi o gotejamento. Para cada fileira de planta, foram instaladas duas linhas laterais conectadas às linhas de derivação. Os tratamentos foram diferenciados com o auxílio de registros no cabeçal de controle. Os gotejadores utilizados foram do tipo autocompensantes, com seis emissores por planta, com vazão de 4 L h^{-1} , sendo instalados três emissores em cada lado da planta. A linha lateral foi posicionada com a distância de 0,25 m da linha de plantio. Em média, essa configuração do sistema de irrigação possibilitou uma área molhada média de 38% e uma uniformidade de distribuição de 94,7%. O turno de rega adotado nos dois experimentos foi diário.

A lâmina aplicada no tratamento controle, ou seja, irrigação plena foi estimada pela evapotranspiração da cultura. Por sua vez, essa foi obtida em função da evapotranspiração de referência por Penman-Monteith modificado (Allen et al., 1998), considerando os coeficientes de cultura recomendado por Posse et al. (2008) e o fator de localização, conforme Keller e Bliesner (1990) (Equação 1). A evapotranspiração de referência foi calculada diariamente com base nos dados disponibilizados pelas estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, Códigos OMM: 86672 e OMM: 86720), localizadas nos municípios de Bom Jesus da Lapa - BA e Jaíba – MG, respectivamente.

$$ET_c = ET_o K_c K_l \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

ET_c - Evapotranspiração da cultura para irrigação localizada, mm d^{-1} ;

ET_o - Evapotranspiração de referência, mm d⁻¹;

K_c - Coeficiente de cultura, adimensional;

K_l - Fator de localização, adimensional.

O fator de localização foi calculado conforme Equação 2.

$$K_l = 0,10 (PAS)^{0,5} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

K_l - Fator de localização, adimensional;

PAS - Porcentagem de área sombreada, %.

Para aferição do manejo da irrigação, o monitoramento do conteúdo de água no solo foi realizado com auxílio de tensímetros “Watermarks”. Os Watermarks foram instalados a uma profundidade de 0,25 m, a uma distância radial de 0,10 m do gotejador e a 0,25 m do caule do mamoeiro em ambos os lados. Os dados de tensão de água no solo foram convertidos em valores de umidade com base no modelo proposto por Van Genuchten (1980), a partir dos seguintes parâmetros, Experimento BA: umidade de saturação = 0,3596 cm³/cm³, umidade residual = 0,1771 cm³/cm³, α = 0,46, m = 0,30 e n = 1,33; e Experimento MG: umidade de saturação = 0,3295 cm³/cm³, umidade residual = 0,1872 cm³/cm³, α = 0,45, m = 0,35 e n = 1,13. De posse dos valores de umidade do solo nos diferentes tratamentos, calculou-se a porcentagem de água disponível do solo (Equação 3) no mês de agosto e setembro de 2016, período de elevada demanda evapotranspirométrica do mamoeiro.

$$AD = \left[\frac{\theta_{at} - \theta_{pm}}{\theta_{cc} - \theta_{pm}} \right] 100 \quad (\text{Eq.3})$$

Em que;

AD – Água disponível, %;

θ_{at} – Umidade atual, cm³ cm⁻³;

θ_{cc}- Umidade correspondente a capacidade de campo, cm³ cm⁻³;

θ_{pm}- Umidade correspondente ao ponto de murcha permanente, cm³ cm⁻³.

4.2.4. Tratos culturais

As mudas foram produzidas em ambiente protegido na Embrapa Mandioca e Fruticultura e posteriormente conduzidas até a área experimental. Em seguida, foram transplantadas três mudas por cova. As plantas foram dispostas em fileiras simples, sendo

cada fileira composta por 7 plantas por tratamento. Após 50 dias da data do transplântio, foi realizado o desbaste, onde se selecionou uma planta hermafrodita e mais vigorosa.

O controle das plantas daninhas foi realizado através de capina manual nas fileiras de plantas e capina mecânica nas entrelinhas com auxílio de uma roçadeira acoplada a um trator. As pragas e doenças foram controladas pelo método químico, sendo realizadas pulverizações com inseticidas do grupo químico Avermectina® e Kumulus®, e fungicidas do grupo químico Score® conforme recomendações dos fabricantes.

A adubação do mamoeiro foi realizada por meio de fertirrigações distribuídas quinzenalmente durante os meses de condução dos experimentos, com base na análise química do solo e recomendações de Sanches et al., (1999).

4.2.5. Características avaliadas

Nos dois experimentos foram avaliados altura de planta, diâmetro do caule e a área foliar do mamoeiro. A altura da planta foi obtida medindo-se o comprimento da superfície do solo até o ápice da planta. O diâmetro do caule foi determinado a partir da circunferência do caule a 0,10 m da superfície do solo. A área foliar foi determinada a partir do comprimento dos lóbulos centrais de todas as folhas da planta, conforme a Equação 4, proposta por Alves e Santos (2002).

$$AF = 0,0947L^{2,7352} \quad (\text{Eq.4})$$

Em que:

AF - Área foliar, m²; e

L - Comprimento do lóbulo central, m.

Nos dois experimentos, os frutos foram colhidos semanalmente por meio de uma leve torção lateral, quando ainda apresentavam menos que 15% da superfície da casca amarela, ou seja, no estágio I de maturação (Morais et al., 2007). No momento da colheita, os frutos foram pesados e identificados em seus respectivos tratamentos. Os valores obtidos nas pesagens foram transformados em produtividade.

Após 4 meses do início da colheita do mamão, foram selecionados ao acaso 4 frutos por tratamento nos dois experimentos. Esses frutos foram enviados ao Laboratório de Fisiologia Vegetal e Pós-colheita da Embrapa Mandioca e Fruticultura, para avaliação dos atributos químicos: acidez titulável (AT) e sólidos solúveis (SS). No laboratório os frutos foram submetidos à higienização por meio de lavagem com detergente neutro, e,

posteriormente, armazenados até atingirem estágio 5 de maturação (acima de 75% de casca alaranjada).

Para determinação da acidez titulável, pesou-se 1g da polpa de fruto em um béquer, em seguida, adicionou-se 30 mL de água destilada e 3 gotas de fenolftaleína. Posteriormente, titulou-se com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1N até atingir coloração rósea clara, por meio do dosímetro semiautomático modelo Metrohm-775 Dosimet. As análises foram feitas em duplicata, expressando-se os resultados em g de ácido cítrico/100 g de polpa (AOAC, 1990). A quantificação dos sólidos solúveis foi realizada por meio da leitura refratométrica direta dos graus Brix da amostra, usando um refratômetro de bolso Kitler Mod. 113 (0-32°), com escala de 0,2°. E, por fim, calculou-se a relação SS/AT.

No experimento MG, a coleta das raízes foi realizada aos 240 dias após o transplante das mudas do mamoeiro para área experimental, pelo método dos monólitos (Böhm, 1979) no sentido longitudinal a linha de gotejadores. As amostras de 1.000 cm³ foram coletadas nas combinações de distâncias de 0; 0,20; 0,40 e 0,60 m em relação ao caule da planta e profundidades de 0,0 - 0,15; 0,15 - 0,30; 0,30 - 0,45 e 0,45 - 0,60 m. Após a coleta, as amostras foram colocadas em sacos plásticos e identificadas. Em seguida, foram encaminhadas para o Laboratório de Irrigação e Fertirrigação da Embrapa Mandioca e Fruticultura, onde as raízes de cada amostra foram separadas do solo por lavagem com água e expostas a secagem natural em uma bancada. Após a secagem, as raízes foram colocadas em folhas de transparências e digitalizadas em arquivos TIFF (Tagged Image File Format). Os arquivos no formato TIFF foram descomprimidos e submetidos ao software Rootedge (Kaspar; Ewing, 1997) para a determinação do comprimento total acumulado das raízes, profundidade e distância horizontal efetiva do sistema radicular na unidade metros.

4.2.6. Análise estatística

Os dados adquiridos nas avaliações do crescimento, produção e qualidade dos frutos do mamoeiro foram interpretados estatisticamente por meio da análise de variância precedida pelo Teste F e, quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o software estatístico SISVAR (Ferreira, 2003).

4.3. Resultados e discussão

4.3.1. Comportamento hídrico do solo

Durante o experimento, a precipitação total acumulada foi de 767 mm em Bom Jesus da Lapa - BA e 719 mm em Jaíba - MG (Tabela 1.3). Os maiores valores mensais de precipitação foram registrados no mês de janeiro de 2016 (350 mm) e novembro de 2016 (286 mm), em Bom Jesus da Lapa - BA e Jaíba - MG, respectivamente. O déficit de pressão de vapor (DPV) mensal variou entre 1,9 a 3,2 kPa no experimento BA e 1,4 a 2,9 kPa no experimento MG.

Tabela 1.3. Valores médios mensais de déficit de pressão de vapor (kPa) e valores mensais acumulados de lâmina bruta (LB em mm) e precipitação pluvial (PP em mm) durante os meses de condução do experimento em Bom Jesus da Lapa - BA e Jaíba - MG.

Mês/Ano	Bom Jesus da Lapa - BA			Mês/Ano	Jaíba - MG		
	DPV (kPa)	LB (mm)	PP		DPV (kPa)	LB (mm)	PP
Jan/16	1,9	0	350	Mai/16	1,5	29	0
Fev/16	2,0	27	0	Jun/16	1,4	30	0
Mar/16	2,2	54	0	Jul/16	1,4	36	0
Abr/16	2,6	51	0	Ago/16	1,7	40	0
Mai/16	2,4	86	0	Set/16	2,1	43	0
Jun/16	2,6	89	2	Out/16	2,1	69	28
Jul/16	2,5	92	0	Nov/16	1,5	71	286
Ago/16	3,2	137	0	Dez/16	1,6	103	86
Set/16	3,0	157	0	Jan/17	2,3	136	106
Out/16	3,2	169	0	Fev/17	1,5	90	116
Nov/16	2,6	43	101	Mar/17	1,9	166	82
Dez/16	2,4	91	63	Abr/17	2,1	141	1
Jan/17	3,4	102	17	Mai/17	2,0	123	14
Fev/17	2,6	137	52	Jun/17	2,1	122	0
Mar/17	2,7	48	132	Jul/17	1,9	144	0
Abr/17	2,4	84	46	Ago/17	2,6	134	0
Mai/17	2,9	78	4	Set/17	2,7	110	0
Total		1446	767	Total		1587	719

Devido à ausência de chuva em oito meses no experimento BA e nove meses no experimento MG (Tabela 1.3), foi possível caracterizar o manejo da irrigação em PRD por meio da água disponível no solo na zona radicular, monitorada nos dois lados da planta para os diferentes tratamentos (Figuras 1.4 e 1.5). Ao longo da condução dos experimentos, os valores de umidade do solo variaram entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente nos tratamentos estudados.

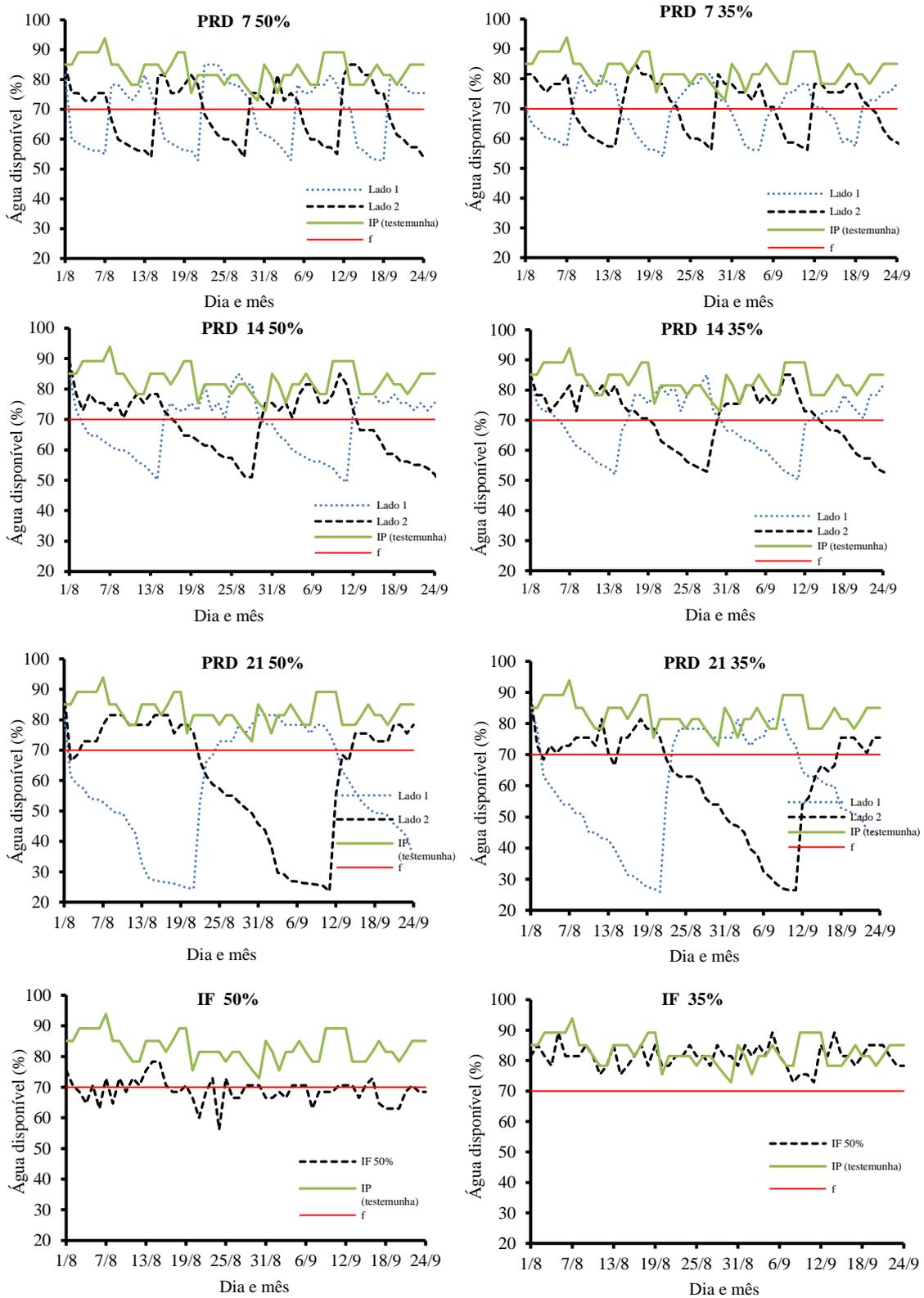


Figura 1.4. Água disponível no solo nos diferentes regimes de irrigação em PRD: secamento parcial da zona radicular, com redução de 50 e 35% da lâmina bruta de irrigação (LB), alternando aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular, com redução de 50 e 35% da LB; IP: irrigação plena, 100% da LB, e f: água disponível no solo correspondente a umidade crítica para o mamoeiro, em Bom Jesus da Lapa - BA.

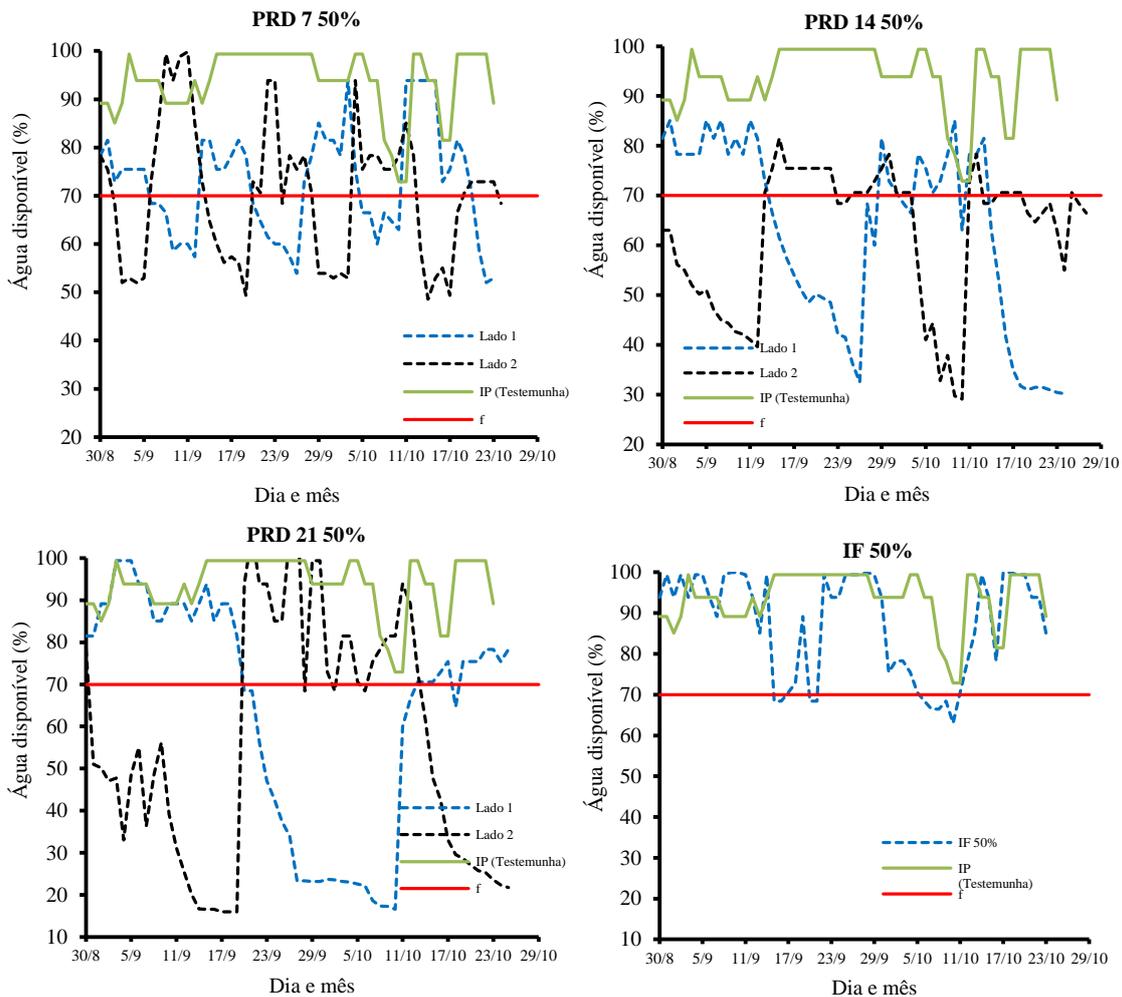


Figura 1.5. Água disponível no solo nos diferentes regimes de irrigação em PRD: secamento parcial da zona radicular, com redução de 50% da lâmina bruta de irrigação (LB), alternando aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular, com redução de 50% da LB; IP: irrigação plena, 100% da LB, e f: água disponível no solo correspondente a umidade crítica para o mamoeiro, em Jaíba - MG.

No tratamento PRD 7 50%, ou seja, alternância do lado irrigado do sistema radicular da planta a cada 7 dias, e redução de 50% da lâmina bruta de irrigação (LB), foi suficiente para a água disponível do solo no lado submetido ao secamento alcançar valores próximos a 55% no experimento BA e 50% no experimento MG, o que corresponde a uma redução de 15% e 20% em relação à água disponível (70%) no solo correspondente a umidade ou potencial crítico assumido para o mamoeiro (Figuras 1.4 e 1.5). No tratamento PRD 7 35%, em média, os valores de redução da água disponível em relação à capacidade de campo foram de aproximadamente 43,5%, e de 13,5% para umidade crítica assumida para o mamoeiro (Figura 1.4).

Devido ao maior tempo submetido ao secamento, os maiores valores de redução da água disponível no solo em relação ao limite inferior exigido pelo mamoeiro, nos dois experimentos, ocorreram no tratamento PRD 21 com redução de 50 e 35% da LB, seguido do tratamento PRD 14 com redução de 50 e 35% (Figuras 1.4 e 1.5). No experimento BA, nos tratamentos com período de alternância de lado irrigado de 21 e 14 dias, os valores de água disponível do solo no lado da planta submetido ao secamento alcançaram médias em torno de 25 e 50%, respectivamente. Já no experimento MG, para esses mesmos períodos de alternância de lados irrigados, os valores de água disponível no solo alcançaram médias próximas a 15% e 30%, respectivamente (Figura 1.4).

Nos dois experimentos, a água disponível do solo no tratamento Controle IP permaneceu com valores superiores a água disponível crítica (70%) (Figuras 1.4 e 1.5), como exigido pelo mamoeiro para não ocorrência da redução de produtividade. No tratamento IF com reduções de 50 e 35% da LB (experimento BA), os valores de água disponível no solo do lado permanentemente irrigado permaneceram entre 57 e 80%, já no experimento MG o tratamento IF 50% a água disponível no solo variou entre 60 e 100%.

4.3.2. Crescimento do mamoeiro

A variável de crescimento que é mais influenciada pelos tratamentos é a altura de plantas, que demonstrou diferença entre os tratamentos aos 80 e 240 DAT no experimento BA, e no experimento MG apenas aos 90 DAT. No experimento BA, aos 80 DAT a maior altura de planta foi identificada no tratamento PRD 14 50%, diferenciando-se dos demais tratamentos (Tabela 1.4). Aos 240 DAT, os maiores valores de altura de plantas foram observados nos tratamentos IP, PRD 7 com redução de 50 e 35% da LB, seguidos pelos tratamentos PRD 21 com redução de 50 e 35% da LB, diferenciando-se dos tratamentos PRD 14 e IF com reduções de 50 e 35% da LB, que atingiram os menores valores de altura de plantas (Tabela 1.4).

Tabela 1.4. Médias de altura, diâmetro e área foliar do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular; e IP: irrigação plena em diferentes épocas (dias após transplante - DAT), em Bom Jesus da Lapa - BA e Jaíba - MG.

Tratamentos	Bom Jesus da Lapa - BA			Jaíba - MG			
	80 DAT	140 DAT	240 DAT	90 DAT	145 DAT	200 DAT	
Altura média (m)	PRD 7 35%	1,44b	2,33a	2,86a			
	PRD 14 35%	1,32b	2,19a	2,67b			
	PRD 21 35%	1,48b	2,29a	2,84a			
	IF 35%	1,44b	2,23a	2,65b			
	PRD 7 50%	1,54b	2,28a	2,91a	0,86a	1,13a	1,37a
	PRD 14 50%	1,72a	2,28a	2,65b	0,90a	1,09a	1,34a
	PRD 21 50%	1,25b	2,25a	2,81a	0,82b	1,10a	1,32a
	IF 50%	1,48b	2,21a	2,64b	0,86a	1,10a	1,32a
	IP	1,54b	2,50a	2,94a	0,96a	1,22a	1,51a
	<i>p</i> (teste F)	0,00	0,30	0,04	0,00	0,26	0,07
CV (%)	8,51	8,67	7,68	6,64	8,72	7,92	
Diâmetro médio (m)	PRD 7 35%	0,195b	0,345a	0,395a			
	PRD 14 35%	0,185b	0,335a	0,390a			
	PRD 21 35%	0,205a	0,342a	0,400a			
	IF 35%	0,180b	0,352a	0,412a			
	PRD 7 50%	0,212a	0,335a	0,422a	0,141a	0,200a	0,278a
	PRD 14 50%	0,242a	0,332a	0,402a	0,147a	0,194a	0,278a
	PRD 21 50%	0,157b	0,320a	0,410a	0,143a	0,194a	0,293a
	IF 50%	0,190b	0,337a	0,412a	0,156a	0,231a	0,289a
	IP	0,167b	0,387a	0,450a	0,152a	0,210a	0,288a
	<i>p</i> (teste F)	0,01	0,18	0,25	0,30	0,46	0,94
CV (%)	7,26	7,39	9,26	8,20	17,10	12,05	
Área foliar (m ²)	PRD 7 35%	1,54a	5,93a	4,64a			
	PRD 14 35%	1,07a	4,45b	3,62a			
	PRD 21 35%	1,83a	5,03b	4,34a			
	IF 35%	1,01a	5,90a	3,26a			
	PRD 7 50%	1,80a	5,46a	4,79a	1,84a	2,38a	6,88a
	PRD 14 50%	1,29a	4,29b	3,38a	1,93a	2,28a	6,86a
	PRD 21 50%	1,12a	4,46b	4,33a	1,74a	2,20a	6,24a
	IF 50%	0,92a	4,78b	4,35a	2,22a	2,21a	6,43a
	IP	1,91a	6,11a	5,21a	2,29a	2,97a	8,53a
	<i>p</i> (teste F)	0,12	0,04	0,15	0,17	0,61	0,34
CV (%)	23,15	43,22	25,31	19,70	34,33	22,76	

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

No experimento MG a altura média das plantas do tratamento PRD 21 50% foi à única que se diferenciou do tratamento Controle IP, com uma redução de 14,58%. Essa menor altura de plantas pode ser justificada pela redução de 55% da água disponível no solo correspondente a umidade crítica assumida para o mamoeiro (Figura 1.5).

Aos 80 DAT os maiores diâmetros do caule foram verificados no tratamento PRD 14 50%, PRD 7 50% e no PRD 21 35%, sendo que os diâmetros médios nos demais tratamentos não diferiram entre si, inclusive considerando o tratamento de IP (Tabela 1.4). A partir dos 140 DAT (experimento BA) e dos 90 DAT (experimento MG), observa-se que não houve diferença significativa em relação ao diâmetro médio do mamoeiro nos diferentes tratamentos estudados. Lima et al. (2015) também não encontraram diferença significativa entre o diâmetro médio do caule do mamoeiro cultivado sob a técnica PRD (redução de 30% LB) e o tratamento Controle (100% LB). Desta forma, a variável diâmetro médio do caule não é sensível à variação de alternância do lado irrigado, mesmo com redução de 50% da LB na fase de florescimento e produção, fases estas, consideradas de maior demanda hídrica pelo mamoeiro.

Não houve diferença significativa entre os tratamentos em relação à área foliar do mamoeiro, exceto aos 140 DAT no experimento BA. Aos 140 DAT as maiores áreas foliares ocorreram no tratamento IP, PRD 7 (50 e 35%) e IF 35%, e estes se diferenciaram dos demais. Essas maiores áreas foliares nos tratamentos IP, PRD 7 (50 e 35%) e IF 35% estão diretamente relacionadas com superioridade de água disponível no solo desses tratamentos em relação aos demais (Figura 1.4). Observa-se uma redução da área foliar em todos os tratamentos no experimento BA aos 240 DAT (setembro de 2016) quando comparado aos 140 DAT (maio de 2016). Essa redução foi ocasionada pelo aumento do DPV do ar (Tabela 1.3) nos meses de agosto (3,2 kPa) e setembro (3,0 kPa) que, por sua vez, elevou a demanda transpirométrica. Assim, com intuito de reduzir as perdas de água por transpiração, o mamoeiro intensificou durante esses meses o processo de abscisão e senescência das folhas basais, reduzindo assim a sua área foliar.

4.3.3. Sistema radicular do mamoeiro

Não houve diferença significativa entre os tratamentos estudados para profundidade efetiva do sistema radicular, distância horizontal efetiva do sistema radicular e comprimento total acumulado de raiz (Tabela 1.5). Desta forma, o uso da técnica PRD não promoveu prejuízos em relação ao crescimento das raízes do mamoeiro. A profundidade efetiva do sistema radicular, ou seja, a profundidade correspondente a 80% do comprimento total de raízes variou entre 0,42m (PRD 21 50%) e 0,44m (PRD 7 50%, PRD 14 50% e IP). Esses valores são bem próximos ao encontrado (0,45m) por Coelho et al. (2005) em um estudo sobre a distribuição das raízes do mamoeiro cultivar Tainung 01.

Tabela 1.5. Profundidade efetiva, distância horizontal efetiva e comprimento total acumulado das raízes do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos 7, 14 e 21 dias e redução de 50% da LB; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular, com redução de 50% da LB; e IP: irrigação plena, 100% da LB, em Jaíba – MG.

Tratamentos	Profundidade efetiva	Distância horizontal efetiva	Comprimento total acumulado
	-----(m)-----		
PRD 7 50%	0,44a	0,41a	6,359a
PRD 14 50%	0,44a	0,41a	6,806a
PRD 21 50%	0,42a	0,39a	6,632a
IF 50%	0,43a	0,43a	4,310a
IP	0,44a	0,41a	6,132a
<i>p</i> (teste F)	0,82	0,13	0,11
CV (%)	5,73	5,38	21,73

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Apesar da ausência de diferença significativa entre os tratamentos para a variável profundidade efetiva e distância horizontal efetiva do sistema radicular, observa-se em valores absolutos uma pequena redução (2 cm) tanto para profundidade efetiva, bem como para distância horizontal efetiva do sistema radicular do mamoeiro submetido à alternância do lado irrigado a cada 21 dias e redução de 50% da LB. Essa redução é um indicativo de que a queda de 85% da água disponível no solo (Figura 1.5) do lado submetido ao secamento por 21 dias, promove uma ligeira redução no crescimento das raízes no perfil do solo, o que não ocorreu nos tratamentos com alternância de 7 e 14 dias. Essa redução se deve ao tempo em que as raízes ficam sujeitas a condição de solo com baixa disponibilidade de água (15%) com consequente aumento na resistência mecânica do mesmo, limitando assim o crescimento das raízes. Resultado semelhante a este foi observado por Santos et al. (2016) ao estudarem a distribuição das raízes da bananeira ‘BRS Princesa’ cultivada sob a técnica PRD na região semiárida do Norte de Minas Gerais.

Em termos práticos, o estudo da distribuição das raízes de uma cultura é de suma importância para identificação da zona de maior atividade do sistema radicular que, por sua vez, auxiliará no cálculo da lâmina de irrigação a ser aplicada para cultura e na melhor definição do posicionamento dos sensores para o monitoramento da água no solo. A distância efetiva e a profundidade efetiva de extração de água do solo pelo mamoeiro são semelhantes aos valores da distância horizontal efetiva e da profundidade efetiva do sistema radicular (Carvalho et al., 2014). Portanto, no presente estudo a maior extração de água no solo pelas

raízes ficou dentro da zona das raízes limitada pela distância da planta ao longo da fileira ou linha lateral de gotejadores e profundidade do solo de 0,44m.

4.3.4. Produção e qualidade dos frutos do mamoeiro

Na Tabela 1.6 é possível verificar uma redução da produtividade nos tratamentos submetidos à técnica PRD no experimento MG. Essa queda de produtividade é justificada pelo ataque severo de ácaros (*Tetrany chusurticae*) ao longo do desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do mamoeiro. Apesar dessa redução, a produtividade em todos os tratamentos ficou acima da produtividade média nacional (39.892 kg ha⁻¹) e do Estado de Minas Gerais (32.360 kg ha⁻¹), com base no estudo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019).

As produtividades dos tratamentos submetidos à técnica PRD no experimento BA foram maiores do que as dos tratamentos no experimento MG (Tabela 1.6). Além do ataque severo do *Tetrany chusurticae* no experimento MG, essas maiores produtividades podem ser atribuídas à maior capacidade de retenção de água do solo do experimento BA e a menor taxa de redução de água no tempo, conseqüentemente menor intensidade do estresse hídrico em relação às mudanças de lado irrigado, o que não ocorreu no experimento MG (Figuras 1.4 e 1.5).

No experimento BA não houve diferença significativa na produtividade média de frutos entre o tratamento Controle IP, PRD 7 35% e o PRD 14 35%, e estes se diferenciaram dos demais tratamentos. A menor produtividade média de frutos ocorreu no tratamento PRD 21 50% (67.594 kg ha⁻¹). Essa menor produtividade é atribuída à redução de 55% da água disponível do solo (PRD 21 50%) em relação ao limite de depleção de água disponível exigido pelo mamoeiro, no lado submetido ao secamento (Figura 1.4) que, por sua vez, ocasionou uma diminuição da área foliar quando comparado ao tratamento Controle IP de 41%, 27% e 16%, aos 80, 140 e 240 DAT, respectivamente, impactando assim negativamente na área fotossinteticamente ativa do mamoeiro.

Tabela 1.6. Produtividade média, massa média, acidez titulável (AT), sólidos solúveis (SS) e a relação SS/AT dos frutos do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular; e IP: irrigação plena em Bom Jesus da Lapa - BA e Jaíba - MG.

Experimento BA					
Tratamentos	Produtividade (kg ha ⁻¹)	Massa média de frutos (g)	AT (g/100g Ác. cítrico)	SS (%)	SS/AT
PRD 7 50%	70.564b	1.376,6a	0,12a	12,57a	99,78a
PRD 7 35%	89.933a	1.167,4a	0,12a	12,27a	96,48a
PRD 14 50%	70.253b	1.056,3a	0,10a	11,22b	107,20a
PRD 14 35%	84.453a	1.136,3a	0,12a	11,67b	98,38a
PRD 21 50%	67.594b	1.186,3a	0,09a	11,30b	116,10a
PRD 21 35%	71.837b	1.144,0a	0,11a	11,90b	100,28a
IF 50%	70.058b	1.129,5a	0,11a	11,75b	99,26a
IF 35%	71.467b	1.374,7a	0,12a	12,45a	104,32a
IP	96.218a	1.226,7a	0,12a	13,22a	110,52a
<i>p</i> (teste F)	0,00	0,06	0,18	0,03	0,25
CV (%)	14,43	18,59	13,09	6,60	10,70
Experimento MG					
PRD 7 50%	60.464b	995,0b	0,33a	13,47a	41,27a
PRD 14 50%	60.948b	972,0b	0,24b	13,90a	56,29a
PRD 21 50%	54.200b	991,0b	0,30a	13,55a	45,39a
IF 50%	59.977b	1.064,0ab	0,30a	12,67a	41,98a
IP	78.542a	1.138,0a	0,25b	13,27a	53,99a
<i>p</i> (teste F)	0,00	0,00	0,04	0,37	0,06
CV (%)	15,18	5,31	13,55	6,27	16,18

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

De acordo com Posse et al. (2009) uma redução de 33% do fornecimento hídrico para mamoeiro UENF/CALIMAN01 pode ocasionar uma queda média de 51% na sua produtividade comercial. O período mais longo de secamento do solo aos níveis de água disponíveis abaixo de 50% influenciou na absorção da água necessária ao crescimento da cultura adequado a produtividade. O cultivo do mamoeiro sob condições de estresse hídrico e a altas temperaturas, como foi caso do presente estudo, pode reduzir a produção de biomassa (Lima et al., 2015) e assimilação líquida de carbono (Lima et al., 2015, 2016) e, assim, interferir negativamente no desenvolvimento e na produtividade da cultura.

Os tratamentos PRD 7, PRD 14 e IF, com redução da LB de 50%, alcançaram produtividades muito próximas entre si, com valores próximos de 70 Mg ha⁻¹ no experimento BA, e 60 Mg ha⁻¹ no experimento MG. Em todos os tratamentos, a menor redução da LB

aplicada e o menor intervalo de alternância do lado irrigado promoveram uma maior produtividade.

Nos tratamentos PRD 7 35% e PRD 14 35% as produtividades foram 20 e 15%, respectivamente, superiores ao tratamento IF 35%. Esse resultado evidencia uma superioridade das plantas submetidas à técnica PRD em relação à irrigação em apenas um lado da planta (Tabela 1.6). Essa superioridade das plantas submetidas à técnica PRD pode estar relacionada ao aumento da concentração de ácido abscísico nas folhas em virtude do déficit hídrico do solo do lado submetido ao secamento (El-Sadek, 2014). O aumento do ácido abscísico nas folhas induz o fechamento parcial dos estômatos, contribuindo assim para conservação do conteúdo relativo de água na folha (Pérez-Pérez et al., 2018) dentro de uma faixa onde a capacidade fotossintética e o rendimento quântico não sejam afetados negativamente (Campostrini et al., 2018), e por fim manutenção da produção de fotoassimilados a níveis aceitáveis. As menores reduções da produtividade em relação ao tratamento Controle IP ocorreram nos tratamentos PRD 7 35% (6,53%) e PRD 14 35% (12,22%). Assim, o mais indicado para o mamoeiro ‘Tainung 01’ nas condições semiáridas é a alternância do lado irrigado a cada 7 dias, seguido pela alternância de 14 dias, com redução de 35% LB.

Os tratamentos submetidos à técnica PRD e a IF com redução de 50% (experimentos BA e MG) e 35% da LB (experimento BA) atingiram uma economia de água de 723, 793,5 e 506 mm, respectivamente (Tabela 1.3). Mesmo com essas reduções de lâminas aplicadas, as produtividades médias alcançadas nos tratamentos PRD 50% da LB (7,14 e 21 dias) foram maiores que a produtividade média nacional em 43,46%, 43,21% e 40,98% no experimento BA, e 34,02%, 34,54% e 26,39% no experimento MG, respectivamente. Nos tratamentos PRD 35% da LB (7, 14 e 21 dias), as produtividades no experimento BA foram superiores em 55,64%, 52,76% e 44,46%, respectivamente. Portanto, esses resultados de produtividades, associados à redução das lâminas aplicadas, apontam o quanto as estratégias de manejo de irrigação podem maximizar o uso racional dos recursos hídricos pela fruticultura irrigada, principalmente em regiões com baixos regimes pluviométricos e altas temperaturas, como é caso do semiárido brasileiro.

Exceto no tratamento PRD 14 50%, as massas médias dos frutos no experimento BA foram superiores aos relatados por Costa et al. (2013), em que o peso dos frutos da variedade Tainung 01 variou de 900 a 1.100 g. Já no experimento MG, os valores de massa média dos frutos produzidos estão dentro dessa faixa (Tabela 1.6). Tanto no experimento BA, bem como

no experimento MG, a massa média dos frutos em todos os tratamentos estão dentro da faixa exigida pelo mercado, que varia de 750g a 2.400g (CEAGESP, 2019).

Não houve diferença significativa ($p>0,05$) entre os tratamentos para variável AT (Experimento BA) e SS (Experimento MG). As maiores médias de SS no experimento BA ocorreram nos tratamentos PRD 7 50%, PRD 7 35%, IF 35% e IP (Tabela 1.6). Os valores médios de SS dos frutos nos dois experimentos estão dentro da faixa de valores médios (9-14%) encontrada por Santana et al. (2004) em um estudo com diferentes genótipos de mamoeiro do grupo Formosa.

O ratio, ou seja, a relação SS/AT representa o balanço entre os açúcares e os ácidos dos frutos que, por sua vez, contribui diretamente na formação do aroma e o sabor do fruto (Viana et al., 2015). De maneira geral, quanto maior é o ratio, menor será a acidez do fruto, sendo que o mesmo apresentará uma doçura mais pronunciada. Em consequência disso, maior será a aceitação pelo mercado consumidor. No presente estudo não houve diferença significativa entre os tratamentos em relação ao ratio dos frutos nos dois experimentos (Tabela 1.6). É importante ressaltar que a irrigação plena resultou nos maiores valores de SS e ratio nos dois experimentos, com efeito significativo (SS) no experimento BA. Esses resultados contrastam com o verificado por Silva et al. (2013), em que os maiores teores de sólidos solúveis foram obtidos em 208 mamões UENF/CALIMAN 01 quando produzidos sob menores lâminas de irrigação (50% e 75% da ETo).

A técnica PRD com frequência de alternância de 7 e 14 dias e redução de 35% da LB não comprometeu a produtividade e qualidade dos frutos do mamoeiro. Apesar do investimento em maior quantidade de material para compor o sistema de irrigação, com linhas laterais em ambos os lados da planta, o PRD mostrou ser uma técnica promissora para ser aplicada nos cultivos agrícolas praticados em regiões com baixa oferta hídrica, como as semiáridas.

4.4. Conclusões

A água disponível no solo reduziu a níveis de 14% para frequência de alternância do lado irrigado de 7 dias, 20% para 14 dias e de 45% para 21 dias, quando comparada a água disponível no solo correspondente a umidade crítica para o mamoeiro.

O déficit hídrico parcial no solo, ocasionado pela técnica do secamento parcial das raízes, não promoveu reduções significativas no comprimento total das raízes, na profundidade efetiva e na distância horizontal efetiva do sistema radicular do mamoeiro.

A técnica do secamento parcial da zona radicular, nas condições semiáridas, não comprometeu a qualidade dos frutos do mamoeiro ‘Tainung 01’.

Nos tratamentos submetidos à técnica, as maiores produtividades ocorreram nos tratamentos PRD 7 35% (89.933 kg ha⁻¹) e PRD 14 35% (84.453 kg ha⁻¹), com 55,64% e 52,76% superior a média nacional, respectivamente.

Em condições de escassez dos recursos hídricos, a técnica do secamento parcial com alternância do lado irrigado de 7 dias e redução de 35% da LB é a mais indicada para o mamoeiro.

4.5. Referências

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, Italy.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Köppen’s climate classification map for Brazil. Meteor. Zeits. 22, 711-728. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Alves, A.A.C., Santos, E.L., 2002. Estimativa da área foliar do mamoeiro: método não destrutivo. Proceedings of the 17th Congresso Brasileiro de Fruticultura, Belém, PA. CD-ROM.
- ANA (Agência Nacional de Águas), 2017. Atlas irrigação: Uso da água na agricultura irrigada, Brasília, DF, Brasil, <https://www.ana.gov.br> (accessed 16 May 2019).
- ANA (Agência Nacional de Águas), 2015. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Brasília, DF, Brasil. <https://www.ana.gov.br> (accessed 20 January 2019).
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 1990. Official methods of analysis. 15th ed. Washington.
- Arruda, D.M., Ferreira Júnior, W.G., Duque-Brasil, R., Schaefer, C.E.R., 2013. Phytogeographical patterns of dry forests sensu stricto in northern Minas Gerais State, Brazil. Ann. Acad. Bras. Cienc. 85, 623-634. <http://dx.doi.org/10.1590/S0001-37652013000200011>.
- Böhm, W., 1979. Methods of studying root systems. Springer Verlag, New York.
- CEAGESP (Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo), 2019. São Paulo, SP, Brasil. <http://www.ceagesp.gov.br> (accessed 10 June 2019).
- Campostrini, E., Schaffer, B., Ramalho, J.D.C., González, J.C., Rodrigues, W.P., 2018. Environmental factors controlling carbon assimilation, growth, and yield of papaya (*Carica papaya* L.) under water-scarcity scenarios. In: Tejero, I.F.G., Zuazo, V.H.D.

- (Eds.), *Water Scarcity and Sustainable Agriculture in Semiarid Environment*. London, Academic Press. pp. 481-505.
- Carvalho, G.C., E.F. Coelho, and A.J.M. Pamponet., 2014. Determinação do posicionamento de sensores de água do solo em mamoeiro irrigado por microaspersão e gotejamento. *Rev. Magist.* 26, 282-291.
- Coelho, E.F., Santos, M.R., Coelho Filho, M.A., 2005. Distribuição de raízes de mamoeiro sob diferentes sistemas de irrigação localizada em latossolo de tabuleiros costeiros. *Rev. Bras. Frutic.* 27, 175-178. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452005000100047>.
- Coelho, E.F., Santos, M.R., Donato, S.L.R., Cruz, J.L., Oliveira, P.M., Castricini, A., 2019. Soil-water-plant relationship and fruit yield under partial root-zone drying irrigation on banana crop. *Sci. Agric.* 76, 362-367. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2017-0258>.
- Çolak, Y.B., Yazar. A., 2017. Evaluation of crop water stress index on Royal table grape variety under partial root drying and conventional deficit irrigation regimes in the Mediterranean Region. *Sci. Hortic.* 224, 384-394. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.032>.
- Consoli, S., Stagno, F., Vanella, D., Boaga, J., Cassiani, G., Rocuzzo, G., 2017. Partial root-zone drying irrigation in orange orchards: Effects on water use and crop production characteristics. *Europ. J. Agron.* 82, 190-202. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jped.2016.11.001>.
- Costa, A.F.S., Dantas, J.L.L., Pereira, M.G., Cattaneo, L.F., Costa, A.N., Moreira, S.O., 2013. Botânica, melhoramento e variedades. *Inf. Agropec.* 34, 14-24.
- Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3 ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.
- El-Sadek, A., 2014. Water use optimization based on the concept of partial root zone drying. *Ain Shams Eng. J.* 5, 55-62. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2013.09.004>.
- Ferreira, D.F., 2003. Sisvar: versão 4.3. Lavras, Departamento de Ciências Exatas, Universidade Federal de Lavras, MG, Brasil.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 2019. Sidra: Produção Agrícola Municipal. Brasília, DF, Brasil. <https://sidra.ibge.gov.br> (accessed 14 September 2019).
- Kaspar, T.C., Ewing, R.P., 1997. Rootedge: software for measuring root length from desktop scanner images. *Agron. J.* 89, 932-940. <https://doi.org/10.2134/agronj1997.00021962008900060014x>.
- Keller, J., Bliesner, R.D., 1990. *Sprinkle and trickle irrigation*. Van Nostrand Reinhold, New York.

- Lamaoui, M., Chakhchar, A., Kharrassi, Y., Wahbi, S., Modafar, C., 2018. Morphological, physiological, and biochemical responses to water stress in melon (*Cucumis melo*) subjected to regulated deficit irrigation (RDI) and partial rootzone drying (PRD). *J. Crop Sci. Biotech.* 21, 407-416. <https://doi.org/10.1007/s12892-018-0122-0>.
- Lima, R.S.N., Figueiredo, F.A.M.M., Martins, A.O., Deus, B.C.S., Ferraz, T.M., Gomes, M.M.A., Souza, E.F., Glenn, D.M., Campostrini, E., 2015. Partial rootzone drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) effects on stomatal conductance, growth, photosynthetic capacity, and water-use efficiency of papaya. *Sci. Hortic.* 183, 13-22. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.12.005>.
- Lima, R.S.N., García-Tejero, I., Lopes, T.S., Costa, J.M., Vaz, M., Durán-Zuazo, V.H., Chaves, M., Glenn, D.M., Campostrini, E., 2016. Linking thermal imaging to physiological indicators in *Carica papaya* L. under different watering regimes. *Agric. Water Manag.* 164, 148-157. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.07.017>.
- Meier, J., Zabel, F., Mauser, W., 2018. A global approach to estimate irrigated areas - A comparison between different data and statistics. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 22, 1119-1133. <https://doi.org/10.5194/hess-22-1119-2018>.
- Moraes, M.M.G.A., Biewald, A., Carneiro, A.C.G., Silva, G.N.S., Popp, A., Lotze-Campen, H., 2018. The impact of global change on economic values of water for Public Irrigation Schemes at the São Francisco River Basin in Brazil. *Reg. Environ. Change.* 18, 1943-1955. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1291-0>.
- Morais, P.L.D., Silva, G.G., Menezes, J.B., Maia, F.E.N., Dantas, D.J., Sales Júnior, R., 2007. Pós-colheita de mamão híbrido UENF/Caliman 01 cultivado no Rio Grande do Norte. *Rev. Bras. Frutic.* 29, 666-670. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452007000300046>.
- Pérez-Pérez, J.G., Navarro, J.M., Roblesa, J.M., Dodd, I.C., 2018. Prolonged drying cycles stimulate ABA accumulation in *Citrus Macrophylla* seed lings exposed to partial rootzone drying. *Agric. Water Manag.* 210, 271-278. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.020>.
- Posse, R.P., Bernardo, S., Sousa, E.F., Pereira, M.G., Monnerat, P.H., Gottardo, R.D., 2009. Relação entre a produtividade do mamoeiro e o déficit hídrico (ky) na região Norte Fluminense. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* 13, 158-164. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000200008>.
- Posse, R.P., Bernardo, S., Sousa, E.F., Gottardo, R.D., 2008. Evapotranspiração e coeficiente da cultura do mamoeiro. *Eng. Agríc.* 28, 628-690. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162008000400008>.
- Sanches, N.F., Dantas, J.L.L., 1999. O cultivo do mamão. Cruz das Almas, Embrapa Mandioca e Fruticultura, (Circular Técnica, 34).
- Santana, L. R. R.; Matsuura, F. C. A. U.; Cardoso, R. L., 2004. Improved genotypes of papaya (*Carica papaya* L.): sensory and physico-chemical evaluation. *Food Sci. Technol.* 24, 217-222. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612004000200010>.

- Santos, M.R., Donato, S.L.R., Coelho, E.F., Arantes, A.M., Coelho Filho, M.A., 2016. Irrigação lateralmente alternada em lima ácida 'Tahiti' na região norte de Minas Gerais. *Irriga.* 1, 71-88. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n01p71-88>.
- Shahabian, M., Samar, S.M., Emdad, M.R., 2012. Response of orange trees to deficit irrigation strategies in the north of Iran. *Arch. Agron. Soil Sci.* 58, 267-276. <https://doi.org/10.1080/03650340.2010.517198>.
- Silva, M.S., Melo, A.S., Pedroza, J.P., Gomes, J.P., Júnior, S.O.M., 2013. Quality of papaya hybrid grown under different irrigation depths. *Eng. Agríc.* 33, 865-875. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162013000400025>.
- Van Genuchten, M.T., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci, Soc, Am. J.*, .44, 892-898.
- Viana, E.S., Reis, R.C., Silva, S.C.S., Neves, T.T., Jesus, J.L., 2015. Avaliação físico-química e sensorial de frutos de genótipos melhorados de mamoeiro. *Pesq. Agropec. Trop.*45, 297-303. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632015v4535008>.
- Zhang, J., Liu, H.X., Pang, X.P., Yu, C., Wang, Q., Zhou, Y.P., Lin, L.G., Guo, Z.G., 2019. Effect of partial root-zone drying irrigation (PRD) on the gas exchange and antioxidant enzymatic activities in alfalfa. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 19, 127-136. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-0018-8>.

5. CAPÍTULO 2 - Secamento parcial da zona radicular do mamoeiro cultivado em campo: trocas gasosas, fotossíntese líquida e eficiência do uso da água.

Publicado no Periódico Agricultural Water Management.
<https://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106421>

Resumo

A técnica do secamento parcial do sistema radicular (“partial rootzone drying”, PRD) é uma estratégia de manejo de irrigação que potencializa o uso racional da água na fruticultura irrigada. No entanto, a compreensão dos efeitos dos componentes (frequência de alternância do lado irrigado *versus* percentagem de redução da lâmina de irrigação) sobre as trocas gasosas, taxa de crescimento, capacidade fotossintética e o consumo de água das fruteiras, como é o caso do mamoeiro, ainda é considerada um dos gargalos do conhecimento que envolve essa técnica em condições semiáridas. Portanto, esse trabalho teve como objetivo obter resultados avançados relacionados aos efeitos do PRD sobre as trocas gasosas, produtividade, eficiência no uso da água, pegada hídrica e na dinâmica da água no solo no cultivo do mamoeiro nas condições edafoclimáticas da região semiárida do Brasil. Os tratamentos foram constituídos de uma testemunha (Irrigação Plena - IP) e na percentagem de redução de 50% e 35% da lâmina de irrigação com frequências de alternância do lado irrigado de 0, 7, 14 e 21 dias. O sistema de irrigação adotado na área experimental foi o gotejamento, com três emissores em cada lado da planta, e o manejo da irrigação foi realizado com base no clima. Não houve diferença significativa entre os tratamentos aplicados para a variável condutância estomática (g_s), transpiração (E) e fotossíntese líquida (A). A variável taxa de crescimento em altura e a taxa de crescimento em diâmetro do caule apresentaram uma relação positiva e significativa com a produtividade. Quando comparado ao tratamento IP, a menor redução na quantidade de água aplicada (PRD7 35% e PRD14 35%) pode aumentar a eficiência agrônômica do uso de água (EAUA) do mamoeiro sem comprometer a produtividade e as trocas gasosas, as quais foram similares ao tratamento IP. O mamoeiro ‘Tainung 01’, nas condições de cultivo deste trabalho, apresentou um comportamento mais próximo do anisohídrico. O PRD com frequência de alternância do lado irrigado com intervalos de 7 a 14 dias e uma redução de 35% na lâmina de irrigação aplicada pode ser uma técnica viável para reduzir a pegada hídrica do mamoeiro, aumentando assim o uso efetivo de água nas condições semiáridas.

Palavras-chave: *Carica papaya*. Fruticultura no semiárido. Déficit de irrigação. Trocas gasosas. Pegada hídrica.

Abstract

The partial rootzone drying (PRD) technique is an irrigation management strategy that enhances the rational use of water in irrigated fruticulture. However, the understanding of the effects of the components (irrigated side alternation frequency x irrigation depth reduction percentage) on gas exchange, growth rate, photosynthetic capacity and water consumption of fruit crops, as is the case of papaya, is still considered one of the bottlenecks of knowledge involving this technique under semiarid conditions. Therefore, this study aimed to obtain advanced results related to the effects of PRD on gas exchange, yield, water use efficiency, water footprint and soil water dynamics in papaya cultivation in the field under the edaphoclimatic conditions of the semiarid region of Brazil. The treatments consisted of a control (Full Irrigation - FI) and reduction percentages of 50% and 35% in irrigation water depth (IWD) with irrigated side alternation frequencies of every 0, 7, 14 and 21 days. A drip irrigation system was adopted in the experimental area, with three emitters on each side of the plant, and irrigation management was performed based on the weather. There was no significant difference between the applied treatments for stomatal conductance (g_s), transpiration (E) and net photosynthesis (A). The variables height growth rate and diameter growth rate showed a positive and significant relationship with yield. When compared to the FI treatment, the smallest reduction in the amount of water applied (PRD7 35% and PRD14 35%) can increase the agronomic water use efficiency of papaya (AWUE) without compromising its yield and gas exchange, which were similar to those found in the FI treatment. ‘Tainung 01’ papaya, under the cultivation conditions of this work, showed a behavior closer to anisohydric. PRD with irrigated side alternated at intervals of 7 to 14 days and 35% reduction in the applied irrigation depth can be a viable technique to reduce the water footprint of papaya, thus increasing the effective use of water under semiarid conditions.

Key words: *Carica papaya*. Fruticulture in semiarid region. Stress irrigation. Gas exchanges. Water footprint.

5.1. Introdução

Nas regiões tropicais e subtropicais com produção agrícola significativa, as mudanças climáticas podem afetar severamente a produtividade das culturas devido ao aumento da temperatura do ar e a escassez de recursos hídricos (IPCC, 2014). As regiões com baixa pluviosidade e com um histórico de secas consolidado, como é o caso da região semiárida do Nordeste do Brasil, serão extremamente vulneráveis às mudanças climáticas globais e regionais, e poderão se tornar cada vez mais áridas no próximo século (Marengo e Bernasconi, 2015).

A seca de 2012-2017 é considerada o episódio mais severo das últimas décadas na região semiárida do Nordeste Brasileiro, já que estabeleceu uma forte crise hídrica em cerca de 1.300 municípios, afetando quase 9 milhões de pessoas (Marengo et al., 2017). Esse mesmo episódio de seca reduziu significativamente a oferta hídrica nas áreas irrigadas produtoras de mamão do estado da Bahia, Ceará, Rio Grande do Norte e Espírito Santo, onde estão localizados os maiores polos de produção dessa fruta no Brasil (IBGE, 2019).

O uso exagerado da água sem critérios técnicos pelos irrigantes durante os períodos de baixas vazões dos rios tem contribuído para a redução da disponibilidade dos recursos hídricos na agricultura, além de proporcionar a geração de conflitos entre os múltiplos setores usuários da água. Assim, a busca por estratégias de manejo de irrigação que potencializam o uso racional da água nos pomares de mamoeiros irrigados tem se tornado cada vez mais imprescindível para a sustentabilidade produtiva e ambiental (Lima et al., 2015; Lima et al., 2016). Essas estratégias podem contribuir para manutenção da irrigação em períodos críticos de secas prolongadas, evitando assim reduções de produtividade, emprego e renda dos produtores. Dentre as estratégias de manejo da irrigação que potencializam o uso racional da água, a técnica do secamento parcial do sistema radicular vem sendo apontada como uma alternativa de sucesso para redução do consumo de água pela agricultura irrigada (Pérez-Pérez et al., 2018; Lamaoui et al., 2018; Coelho et al., 2019; Consoli et al., 2017).

A técnica do secamento parcial do sistema radicular (“partial rootzone drying”, PRD) consiste na alternância do lado de irrigação do sistema radicular, ou seja, enquanto parte do sistema radicular é submetida ao secamento, a outra parte é irrigada para manter o status adequado de água na planta (Lima et al., 2016; Pérez-Pérez et al., 2018). A teoria defendida é que as raízes submetidas ao secamento produzem sinais químicos (ácido abscísico), que se translocam pelo eixo vascular até as folhas, provocando a redução da abertura estomática, diminuindo assim a transpiração e mantendo as taxas fotossintéticas a níveis satisfatórios (El-

Sadek, 2014). A manutenção da produção de fotoassimilados associada à redução da transpiração aumenta a eficiência do uso de água (Pérez-Pérez et al., 2018), reduzindo assim a pegada hídrica das plantas submetidas à técnica PRD (Jovanovic e Stikic, 2018).

Apesar do aumento da eficiência do uso de água em diversas culturas agrícolas quando cultivadas sob PRD (Consoli et al., 2017; Sezen et al., 2019), não há relatos de trabalhos científicos até o momento sobre as trocas gasosas, pegada hídrica, eficiência do uso de água do mamoeiro (*Carica papaya* L.) sob PRD nas condições edafoclimáticas do semiárido brasileiro. As informações técnicas e os benefícios do cultivo de fruteiras sob a técnica PRD no semiárido do Brasil são limitados a mangueira (Santos et al., 2016a; Santos et al., 2015), limoeiro (Sampaio et al., 2014; Santos et al., 2016b) e a bananeira (Coelho et al., 2019).

A espécie *C. papaya* L. quando cultivada sob baixa disponibilidade hídrica e altas demandas evapotranspirométricas, como é o caso da região semiárida, poderá reduzir significativamente a produção de fotoassimilados, o crescimento e a produtividade dos frutos (Campostrini et al., 2018; Lima et al., 2015). Desta forma, o sucesso da técnica PRD no mamoeiro estará diretamente relacionado com o período de alternância do lado irrigado e o percentual de redução da lâmina irrigação. Pois, a estratégia de manejo de irrigação adotada deve fornecer um conteúdo de água disponível no solo de forma que promova o fechamento parcial dos estômatos e conserve o conteúdo relativo de água na folha (Pérez-Pérez et al., 2018) dentro de uma faixa em que a capacidade fotossintética não seja reduzida significativamente (Campostrini et al., 2018).

Nos cultivos em PRD, a redução da lâmina de irrigação e o período alternância do lado irrigado podem desencadear uma série de repostas fisiológicas nas plantas (Pérez-Pérez et al., 2018; Sezen et al., 2019). A redução da lâmina de irrigação de 25 e 50% sob condições de PRD reduziu a condutância estomática, a transpiração e a eficiência máxima do fotossistema II da oliveira (*Olea europaea* L.), porém não limitou as taxas fotossintéticas e a eficiência intrínseca do uso de água (Abboud et al., 2019). Por outro lado, alguns estudos mostraram que a aplicação do PRD reduz significativamente a taxa fotossintética líquida das plantas (Guang-Cheng et al., 2010; Yuan et al., 2013).

Portanto, diante dos resultados controversos citados anteriormente sobre as relações fisiológicas das plantas sob PRD e a necessidade de informações técnicas sobre o cultivo do mamoeiro com essa técnica em campo, esse trabalho teve como objetivo obter resultados avançados relacionados aos efeitos do PRD sobre as trocas gasosas, produtividade, eficiência no uso da água, pegada hídrica e na dinâmica da água no solo no cultivo do mamoeiro em campo nas condições edafoclimáticas da região semiárida do Brasil.

5.2. Material e Métodos

5.2.1. Experimento

O experimento foi realizado entre Janeiro/2016 e Maio/2017 e instalado no campo experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IF Baiano), *Campus Bom Jesus da Lapa* - BA, situado na microrregião do Médio São Francisco, com as seguintes coordenadas centrais: 13°15'29.04"S, 43°33'07.4"W e 441 m acima do nível do mar (Figura 2.1). Segundo a classificação de Köppen seu clima é do tipo BSh (clima quente de Caatinga), com chuvas de verão e períodos secos bem definidos no inverno (Alvares et al., 2013).

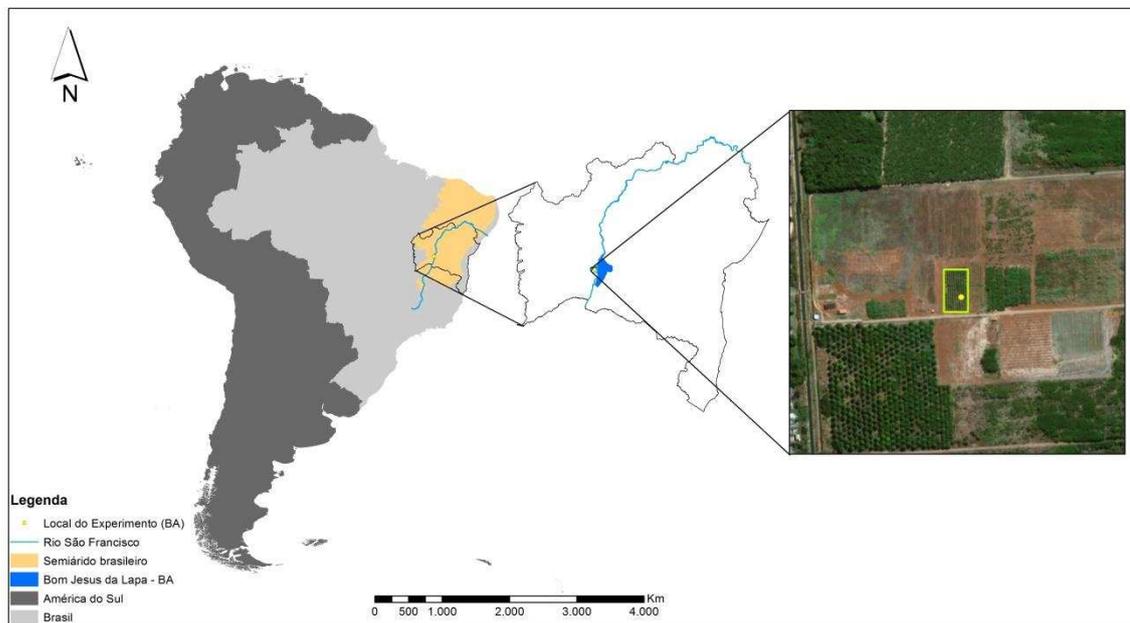


Figura 2.1. Localização do experimento no Estado da Bahia.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, com classe textural Franco Argilo Arenoso (Embrapa, 2013). A umidade do solo correspondente à capacidade de campo foi de $0,290 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, equivalente a tensão de 10 kPa, e umidade correspondente ao ponto de murcha permanente foi de $0,185 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-3}$ equivalente à tensão de 1.500 kPa.

O material vegetal estudado foi o mamoeiro, cultivar Tainung 01 pertencente ao grupo Formosa, transplantado no dia 5 de janeiro de 2016, no espaçamento de 3,8 m x 2,0 m. O experimento foi conduzido no delineamento em blocos casualizados com nove tratamentos e quatro repetições. Cada parcela foi composta por sete plantas, sendo cinco plantas úteis, e entre as parcelas considerou-se uma planta como bordadura. Os tratamentos foram baseados na percentagem de redução de 50 e 35% da lâmina bruta (LB) e frequências de alternância do lado irrigado de 0, 7, 14 e 21 dias, sendo que zero de frequência representa aplicação de água

em apenas um lado da planta, de forma fixa, durante o ciclo da cultura (Figura 2.2). Desta forma, foi possível fazer as seguintes combinações: PRD7 50% - alternância de 7 dias em todo ciclo, com redução de 50% da LB; PRD7 35% - alternância de 7 dias em todo ciclo, com redução de 35% da LB; PRD14 50% - alternância de 14 dias em todo ciclo, com redução de 50% da LB; PRD14 35% - alternância de 14 dias em todo ciclo, com redução de 35% da LB; PRD21 50% - alternância de 21 dias em todo ciclo, com redução de 50% da LB; PRD21 35% - alternância de 21 dias em todo ciclo, com redução de 35% da LB; IF 50% - irrigação fixa em um lado da planta com redução de 50% LB; IF 35% - irrigação fixa em um lado da planta com redução de 35% LB; e IP - irrigação plena, ou seja, aplicação de 100% da LB durante todo o ciclo.

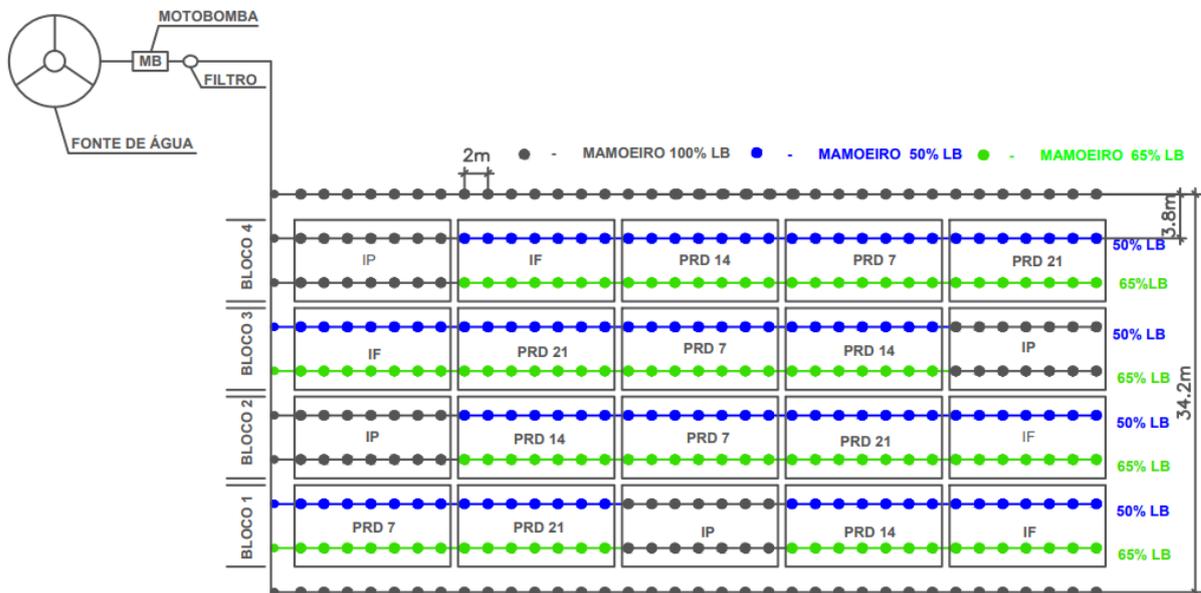


Figura 2.2. Disposição dos tratamentos em campo: PRD 7 – frequência de alternância de 7 dias do lado irrigado, PRD 14 - frequência de alternância de 14 dias do lado irrigado, PRD 21 - frequência de alternância de 21 dias do lado irrigado, IF – Irrigação fixa em um único lado e IP – irrigação plena, ou seja, irrigação simultaneamente nos dois lados (aplicação de 100% da LB).

5.2.2. Manejo da irrigação

O sistema de irrigação adotado no experimento foi o gotejamento. Para cada fileira de planta, foram instaladas duas linhas laterais conectadas às linhas de derivação. Os tratamentos foram diferenciados com o auxílio de registros no cabeça de controle. Os gotejadores utilizados foram do tipo autocompensantes, com seis emissores por planta, com vazão de 4 L h⁻¹, sendo instalados três emissores em cada lado da planta. Para isso, um emissor ficou pareado a planta e outros dois, que o entremeava, ficaram espaçados em 0,40 m. A linha

lateral foi posicionada com a distância de 0,25 m da linha de plantio. Essa configuração do sistema de irrigação possibilitou uma área molhada média de 38% e uma uniformidade de distribuição de 94,7%.

A lâmina aplicada no tratamento controle, ou seja, irrigação plena foi estimada pela evapotranspiração da cultura. Por sua vez, essa foi obtida em função da evapotranspiração de referência por Penman-Monteith modificado (Allen et al., 1998), considerando os coeficientes de cultura recomendado por Posse et al. (2008) e o fator de localização, conforme Keller e Bliesner (1990) (Equação 1). A evapotranspiração de referência foi calculada diariamente com base nos dados disponibilizado pela estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, Código OMM: 86672), localizada no município de Bom Jesus da Lapa - BA.

$$ETc = ETo Kc Kl \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

ETc - Evapotranspiração da cultura para irrigação localizada, mm d⁻¹;

ETo - Evapotranspiração de referência, mm d⁻¹;

Kc - Coeficiente de cultura, adimensional;

Kl - Fator de localização, adimensional.

O fator de localização foi calculado conforme Equação 2.

$$Kl = 0,10 (PAS)^{0,5} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

Kl - Fator de localização, adimensional;

PAS - Porcentagem de área sombreada, %.

Para aferição do manejo da irrigação, o monitoramento do conteúdo de água no solo foi realizado com auxílio de tensímetros “Watermarks”. Os Watermarks foram instalados a uma profundidade de 0,25 m, a uma distância radial de 0,10 m do gotejador e a 0,25 m do caule do mamoeiro em ambos os lados. Os dados de tensão de água no solo foram convertidos em valores de umidade com base no modelo proposto por Van Genuchten (1980), com os seguintes parâmetros: umidade de saturação = 0,3596 cm³/cm³, umidade residual = 0,1771 cm³/cm³, $\alpha = 0,46$, $m = 0,30$ e $n = 1,33$. De posse dos valores de umidade do solo nos diferentes tratamentos, calculou-se a porcentagem de água disponível do solo (Equação 3) no mês de setembro e outubro de 2016, período de elevada demanda evapotranspirométrica do mamoeiro.

$$AD = \left[\frac{\theta_{at} - \theta_{pm}}{\theta_{cc} - \theta_{pm}} \right] 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que;

AD – Água disponível, %;

θ_{at} – Umidade atual, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

θ_{cc} - Umidade correspondente a capacidade de campo, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

θ_{pm} - Umidade correspondente ao ponto de murcha permanente, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$.

5.2.3. Parâmetros micrometeorológicos

Durante o período de condução do experimento a temperatura média, máxima e mínima do ar variou entre 26,2 a 29°C, 34 a 39°C e 17 a 23°C, respectivamente. As máximas temperaturas do ar ocorreram durante os meses de agosto, setembro e novembro do ano de 2016, enquanto as mínimas ocorreram nos meses de junho e julho do mesmo ano (Figura 2.3). A umidade relativa média mensal variou entre 43 e 70%, com os valores máximos nos meses de janeiro, fevereiro e novembro/2016 (Figura 2.3).

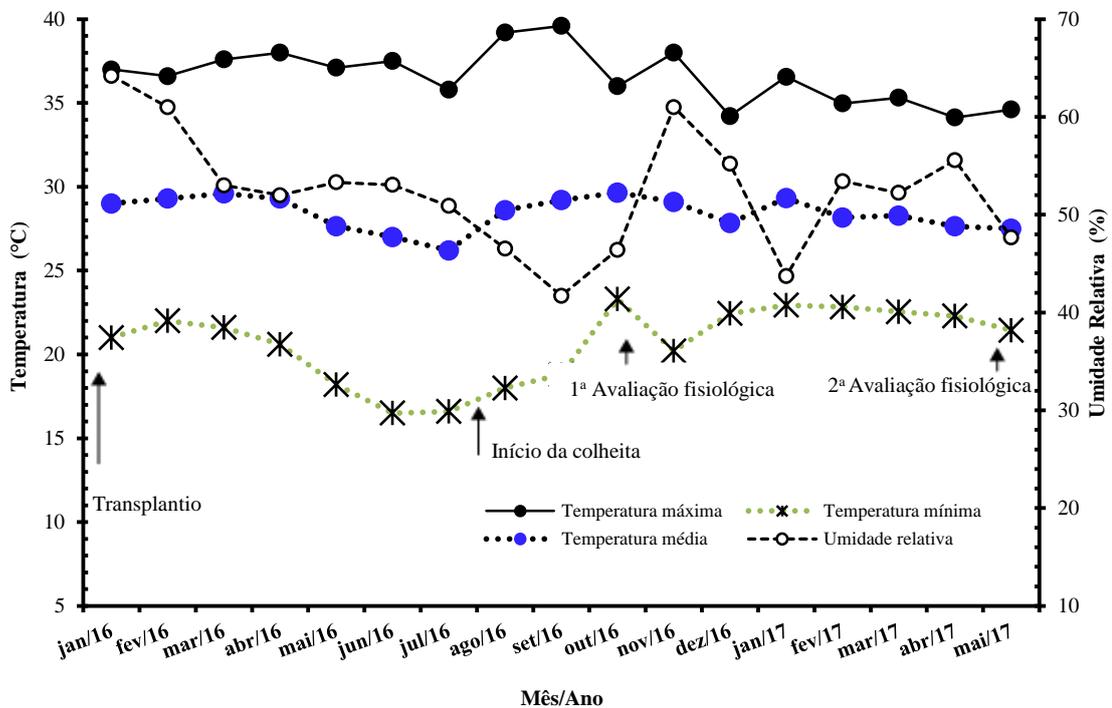


Figura 2.3. Umidade relativa do ar e temperatura média, máxima e mínima durante os meses de condução (janeiro/2016 a maio/2017) do experimento em Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil.

Os maiores déficits mensais de pressão de vapor do ar ocorreram em agosto/2016, setembro/2016, janeiro/2017 e maio/2017, com 3,2, 3,0, 3,2, 3,4 e 2,9 KPa, respectivamente

(Figura 2.4). Durante os dezessete meses de condução do experimento, em oito meses do ano de 2016 não houve registro de precipitação pluvial. Os maiores valores mensais de precipitação acumulada foram observados no mês de Janeiro/2016 (350 mm) e Março/2017 (132 mm) (Figura 2.4). A precipitação total acumulada foi de 767 mm, já a precipitação efetiva, ou seja, a lâmina de água precipitada que o mamoeiro utilizou efetivamente na evapotranspiração após os eventos de precipitação até o restabelecimento das irrigações foi de 346,35 mm.

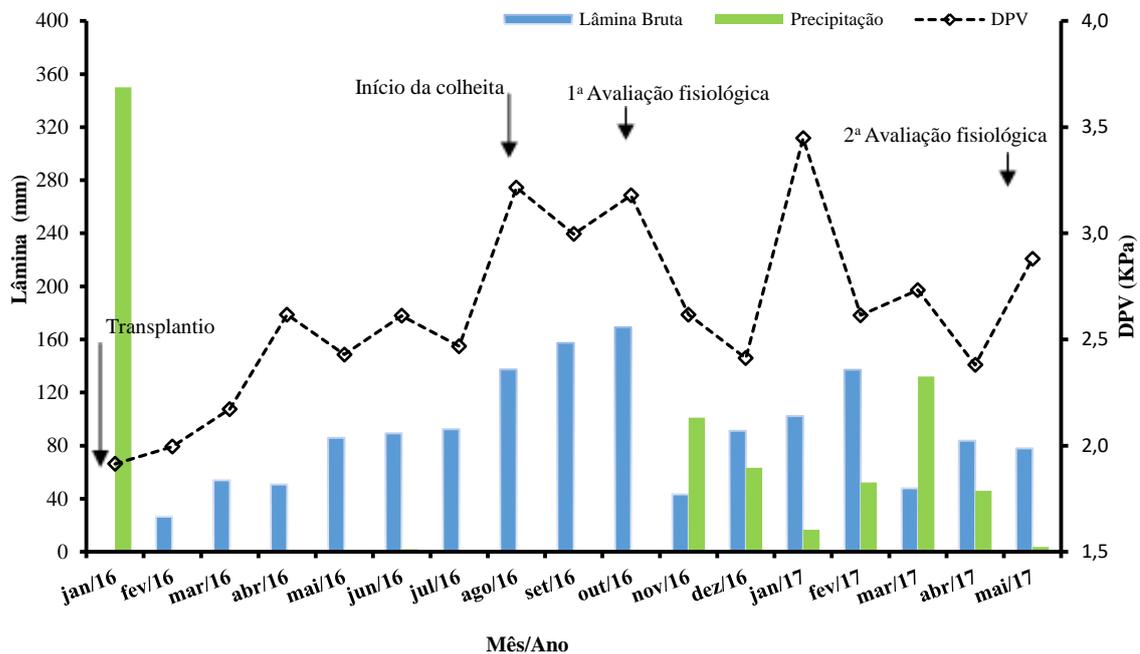


Figura 2.4. Lâmina bruta de irrigação, precipitação e déficit de pressão de vapor do ar durante os meses de condução do experimento em Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil.

5.2.4. Tratos culturais

As mudas foram produzidas em ambiente protegido na Embrapa Mandioca e Fruticultura e posteriormente conduzidas até a área experimental. Em seguida, foram transplantadas três mudas por cova. As plantas foram dispostas em 10 fileiras simples, sendo cada fileira composta por 35 plantas. Após 50 dias da data do transplante, foi realizado o desbaste, onde foi selecionada uma planta hermafrodita e mais vigorosa.

O controle das plantas daninhas foi realizado através de capina manual nas fileiras de plantas e capina mecânica nas entrelinhas com auxílio de uma roçadeira acoplada a um trator. As pragas e doenças foram controladas pelo método químico, sendo realizadas pulverizações com inseticidas Avermectina® e Kumulus®, e fungicidas do grupo químico Score® conforme recomendações dos fabricantes.

A adubação do mamoeiro foi realizada por meio de fertirrigações distribuídas quinzenalmente durante os meses de condução do experimento, com base na análise química do solo e recomendações de Sanches et al. (1999).

5.2.5. Avaliações biométricas

Foi avaliado a altura de planta e o diâmetro do caule do mamoeiro. A altura da planta foi obtida medindo-se o comprimento da superfície do solo até o ápice da planta. O diâmetro do caule foi determinado a partir da circunferência do caule a 0,10 m da superfície do solo. De posse dos valores adquiridos nessas avaliações, foi calculada a taxa de crescimento diário em altura (mm dia^{-1}) e do diâmetro caule do mamoeiro em cada tratamento estudado. A taxa de crescimento foi considerada o coeficiente angular da regressão linear (dia após o plantio x altura/diâmetro) em cada bloco. Com base na taxa de crescimento em altura, foi possível obter eficiência agrônômica do uso de água no crescimento em altura ($EAUA_{\text{altura}}$, Equação 4) de posse do volume de água aplicada em cada tratamento (Tabela 2.1).

$$EAUA_{\text{altura}} = \left[\frac{TCA}{VTA} \right] \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

$EAUA_{\text{altura}}$ - Eficiência agrônômica do uso de água em altura ($\text{mm dia}^{-1} \text{ L}^{-1}$);

TCA - Taxa de crescimento em altura, mm dia^{-1} ;

VTA - Volume total aplicado, L H_2O .

Tabela 2.1. Lâmina de irrigação total aplicada e precipitação efetiva nos diferentes tratamentos durante a condução do experimento (janeiro/2016 a maio/2017), em Bom Jesus da Lapa, Bahia.

Tratamentos	Lâmina Bruta (mm)	Precipitação efetiva (mm)
PRD 07 50%	722,50	346,35
PRD 07 35%	939,25	346,35
PRD 14 50%	722,50	346,35
PRD 14 35%	939,25	346,35
PRD 21 50%	722,50	346,35
PRD 21 35%	939,25	346,35
IF 50%	722,50	346,35
IF 35%	939,25	346,35
IP	1446,00	346,35

5.2.6. Mensurações fisiológicas

A taxa fotossíntese líquida (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E) e a concentração interna de CO_2 (C_i) foram mensurados com um analisador de gás infravermelho (IRGA, *Infrared Gas Analyzer*) modelo Lcpro+ Portable Photosynthesis System (ADC Bio Scientific Limited, UK) com fluxo de ar de 200 ml min^{-1} , concentração de CO_2 de $403 \pm 36 \text{ } \mu\text{mol mol}^{-1}$, temperatura de $40,1 \pm 4,4^\circ\text{C}$, umidade relativa de $59,2 \pm 14,4\%$ e déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ($DPV_{\text{folha-ar}}$) de $2,9 \pm 7,4 \text{ kPa}$ dentro da cubeta de folha. Durante as mensurações, a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foi de $1938 \pm 225 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. As mensurações foram realizadas em duas épocas (Outubro/2016 e Maio/2017) (Figura 2.3), entre 7:00 e 8:00 horas (manhã) e 13:00 e 14:00 horas (tarde), em 3 folhas completamente expandidas de cada planta (6^a, 7^a e 8^a folhas contadas a partir do ápice). De posse dos valores obtidos nessas mensurações, foi possível calcular a eficiência intrínseca no uso da água (EIUA, A/g_s), eficiência quântica da fotossíntese (A/RFA) e estudar as correlações dessas variáveis com a produtividade nos diferentes tratamentos.

5.2.7. Colheita

A colheita foi iniciada em agosto/2016 e finalizada em Maio/2017. Durante os dez meses de colheita, os frutos foram colhidos semanalmente por meio de uma leve torção lateral, quando ainda apresentavam menos que 15% da superfície da casca amarela, ou seja, no estágio I de maturação (Morais et al., 2007). No momento da colheita, os frutos foram pesados e identificados em seus respectivos tratamentos. Os valores obtidos nas pesagens foram transformados em produtividade. A partir do volume de água aplicado em cada tratamento (Tabela 2.1) e as suas respectivas produtividades, foi possível calcular a eficiência agrônômica no uso da água (Equação 5) e a pegada hídrica (Equação 6) do mamoeiro. Tanto a eficiência agrônômica do uso da água, bem como a pegada hídrica, foi calculada com base na lâmina bruta total aplicada nas irrigações, e considerando a lâmina bruta total de irrigação mais a precipitação efetiva (Tabela 2.1).

$$EAUA = \left[\frac{PROD}{VA} \right] \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

EAUA – Eficiência agrônômica do uso de água, $\text{kg fruto L H}_2\text{O}^{-1}$;

PROD - Produtividade, kg fruto ha^{-1} ;

VA - Volume aplicado, L H₂O ha⁻¹.

$$WF = \left[\frac{VA}{PROD} \right] \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

WF - Water footprint (pegada hídrica), L H₂O kg fruto⁻¹;

VA - Volume aplicado, L H₂O ha⁻¹;

PROD - Produtividade, kg fruto ha⁻¹.

5.2.8. Análise estatística

Os dados mensurados nas avaliações de crescimento, fisiológicas e de produção foram interpretados estatisticamente por meio da análise de variância precedida pelo Teste F e, quando significativo, a comparação das médias foi realizada pelo teste de Scott-Knott e Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando-se o software estatístico SISVAR (Ferreira, 2003). Como não foram observadas diferenças significativas das variáveis fisiológicas entre as duas épocas, os valores das trocas gasosas apresentadas neste trabalho representam a média das medidas realizadas em outubro de 2016 e maio de 2017.

5.3. Resultados

5.3.1. Água no solo

A maior frequência de alternância do lado irrigado, associada à menor redução da lâmina de irrigação aplicada promoveu a menor de redução de água disponível do solo no lado submetido ao secamento (Figura 2.5). Esta informação pode ser observada nesta figura, no tratamento PRD7 35%. Nesse tratamento, verifica-se que a água disponível do solo no lado submetido ao secamento reduziu em média 43%. Essa redução foi 13% maior que a depleção de manejo de água permitida (30%). Em contrapartida, nos tratamentos PRD21 50% e PRD21 35%, a menor frequência de alternância do lado irrigado (21 dias), promoveu uma redução da água disponível do solo no lado submetido ao secamento, em média de 77 e 72%, respectivamente. Estes valores representam uma redução de 47% (PRD21 50%) e 42% (PRD21 35%), respectivamente, em relação ao limite (70%) de água disponível no solo correspondente a umidade ou potencial hídrico crítico (f) estabelecido para o mamoeiro (Figura 2.5).

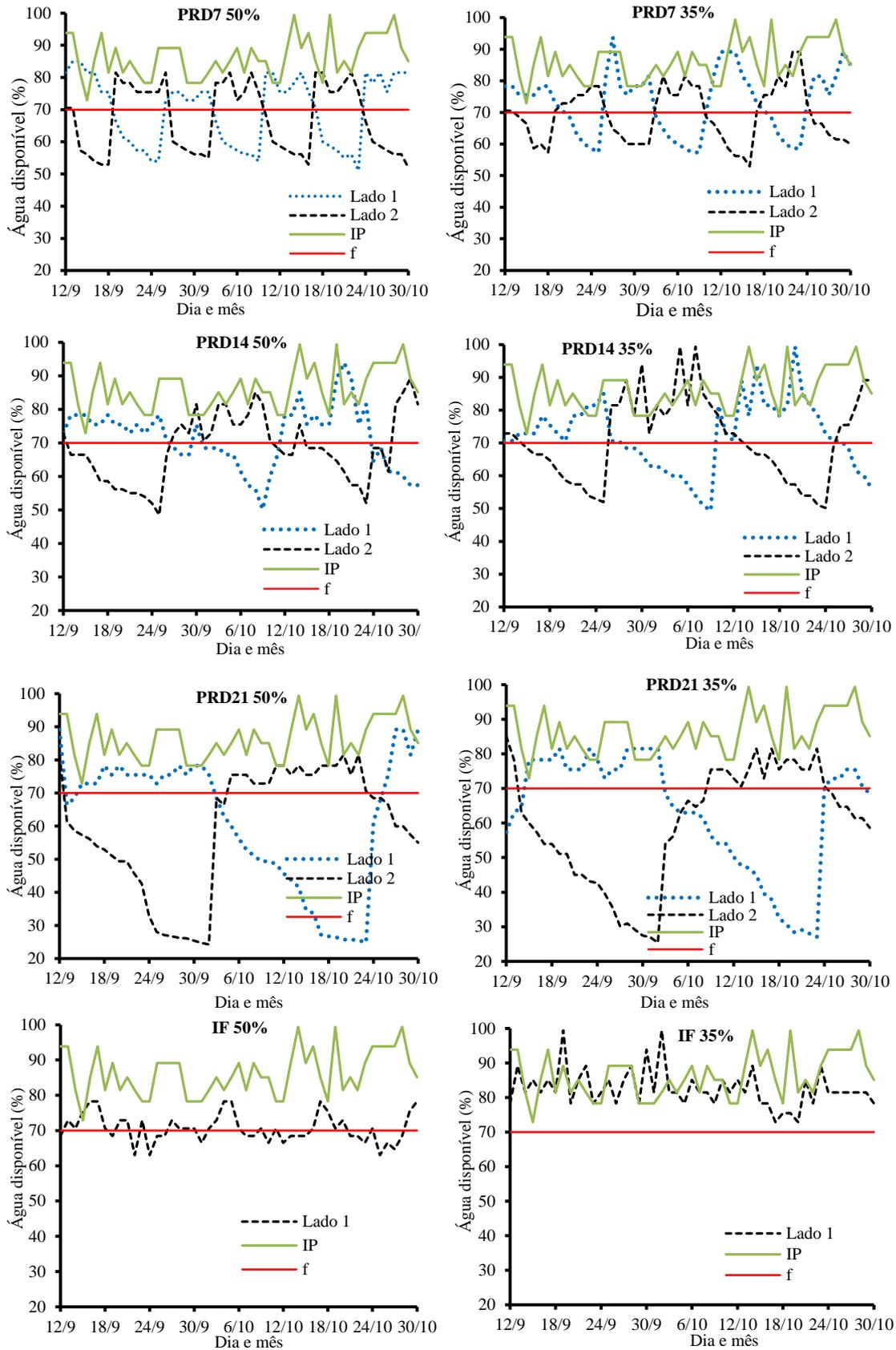


Figura 2.5. Água disponível no solo nos diferentes regimes de irrigação em PRD: secamento parcial da zona radicular, com redução de 50 e 35% da lâmina bruta (LB), alternando aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular, com redução de 50 e 35% da

LB; IP: irrigação plena, 100% da LB, e f: água disponível no solo correspondente a umidade crítica para o mamoeiro, Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil.

A alternância do lado irrigado de 14 dias (PRD 50% e 35%) ocasionou uma redução de água disponível do solo no lado submetido ao secamento em média de 50 e 48%, respectivamente (Figura 2.5). A água disponível do solo no tratamento IP variou de 72 a 100% (Figura 2.5), intervalo esse superior ao limite inferior de água disponível (70%) exigido pelo mamoeiro para a ausência de redução de produtividade (Bernardo et al., 2019). No tratamento IF, ou seja, irrigação permanentemente em um único lado da zona radicular, a água disponível do solo variou de 75 a 87%, no tratamento IF 35%, e de 65 a 79% no tratamento IF 50% (Figura 2.5).

5.3.2. Fotossíntese líquida, condutância estomática, eficiência quântica da fotossíntese (A/RFA) e produtividade.

As médias das variáveis condutância estomática (g_s) e fotossíntese líquida (A) do mamoeiro submetido aos diferentes tratamentos apresentaram uma relação positiva e não significativa, e não diferiram estatisticamente entre os tratamentos ($p>0,05$) (Figura 2.6). Além disso, observa-se que a condutância estomática do tratamento IP, ou seja, aplicação da lâmina de irrigação de 100% da LB foi 35,0%, 22,5%, 27,5%, 15,0%, 32,5%, 17,5%, 30,0% e 17,5%, respectivamente, maior do que a condutância estomática dos tratamentos PRD7 50%, PRD7 35%, PRD14 50%, PRD14 35%, PRD21 50%, PRD21 35%, IF 50% e IF 35%. Já a taxa fotossintética líquida dos tratamentos PRD7 50%, PRD14 50%, PRD14 35%, PRD21 50%, PRD21 35%, IF 50% e IF 35% foram 6,0%, 6,4%, 3,5%, 9,1%, 8,1%, 6,1%, 2,7% menor e 3,45% maior (PRD7 35%) do que taxa fotossintética líquida do tratamento IP, respectivamente (Figura 2.6).

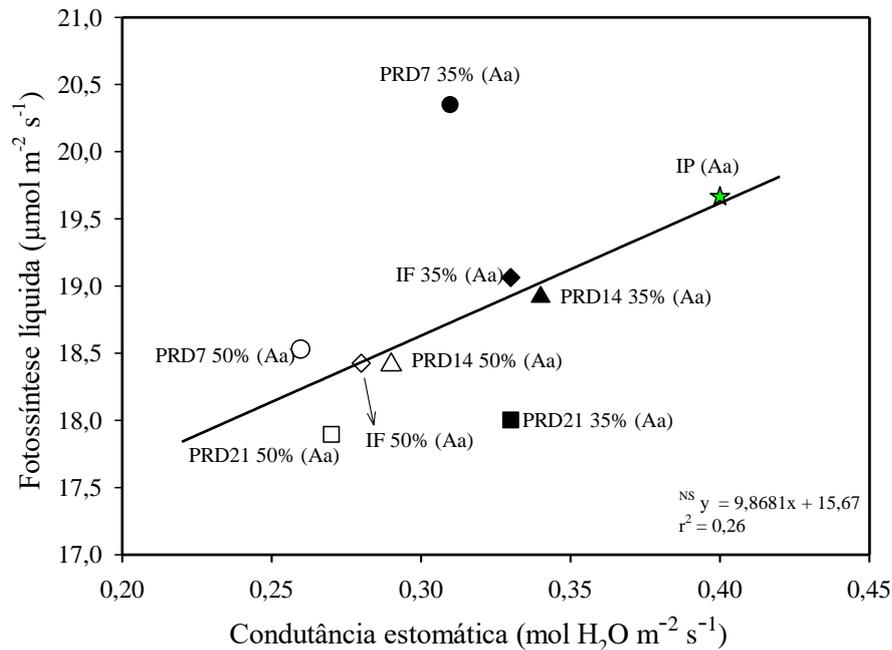


Figura 2.6. Relação entre a fotossíntese líquida e a condutância estomática do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular; e IP: irrigação plena, Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil. *- Significativo ($p < 0,05$); NS - Não Significativo; e () - Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (eixo y) e letra minúscula (eixo x) pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Nas diferentes quantidades de água aplicadas associadas às frequências de alternâncias do lado irrigado, a taxa fotossintética líquida se relacionou de forma positiva e significativa ($p < 0,05$) com a produtividade (Figura 2.7). Contudo, não houve diferença estatística entre as taxas fotossintéticas entre os tratamentos (Figura 2.6). As maiores produtividades médias de frutos foram alcançadas no tratamento irrigação plena (IP, 96.218 kg ha⁻¹), PRD7 35% (89.933kg ha⁻¹, 6,5% inferior ao tratamento IP) e no PRD14 35% (84.453 kg ha⁻¹, 12,2% inferior ao tratamento IP). Já as menores produtividades médias de frutos foram obtidas nos tratamentos PRD7 50% (70.564 kg ha⁻¹), PRD14 50% (70.253 kg ha⁻¹), PRD21 (50 e 35%) (67.597 e 71.837 kg ha⁻¹) e o IF (50 e 35%) (70.058 e 71.467 kg ha⁻¹) (Figura 2.7), e foram 26,6%, 26,9%, 29,7%, 25,3%, 27,2%, e 25,7%, inferior ao tratamento IP, respectivamente.

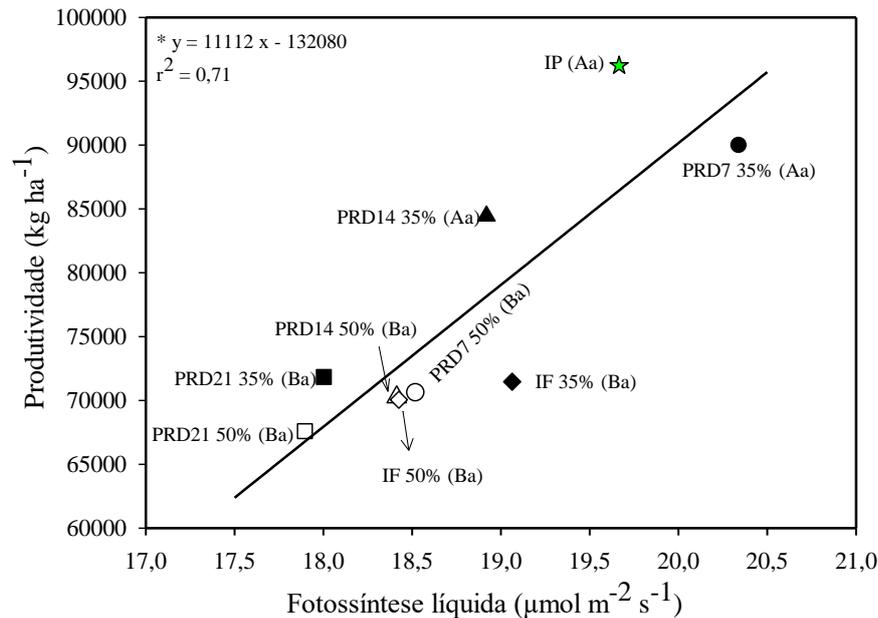


Figura 2.7. Relação entre a fotossíntese líquida e a produtividade do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular; e IP: irrigação plena, Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil.*- Significativo ($p < 0,05$); NS - Não Significativo; e () - Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (eixo y) e letra minúscula (eixo x) pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

As médias da fotossíntese líquida (A) variaram de 17,8 a 20,5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e médias acima de 19,5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ alcançaram as maiores produtividades de frutos (Figura 2.7). A maior taxa fotossintética líquida foi verificada nas plantas do tratamento PRD7 35%, e o menor valor de A foi observado nas plantas do tratamento PRD21 50%. Na Figura 2.7, observa-se que em função da variação no estado hídrico do solo causado pelos tratamentos aplicados, em 1 ha, houve um aumento de 11.112 kg para cada 1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de CO_2 assimilado pelas plantas de mamoeiro durante seu ciclo.

As médias da eficiência quântica da fotossíntese (A/RFA) do mamoeiro submetido aos diferentes tratamentos de irrigação foram similares ($p > 0,05$) (Figura 2.8). Contudo, houve uma relação positiva e significativa entre produtividade de frutos e A/RFA ($p < 0,05$). Na Figura 2.8, observa-se que os maiores valores da relação A/RFA se relacionaram com as maiores produtividades, com destaque para os tratamentos IP e PRD7 35%. Os valores de A/RFA variaram entre 0,0093 a 0,0106 $\mu\text{mol CO}_2 \mu\text{mol photons}^{-1}$.

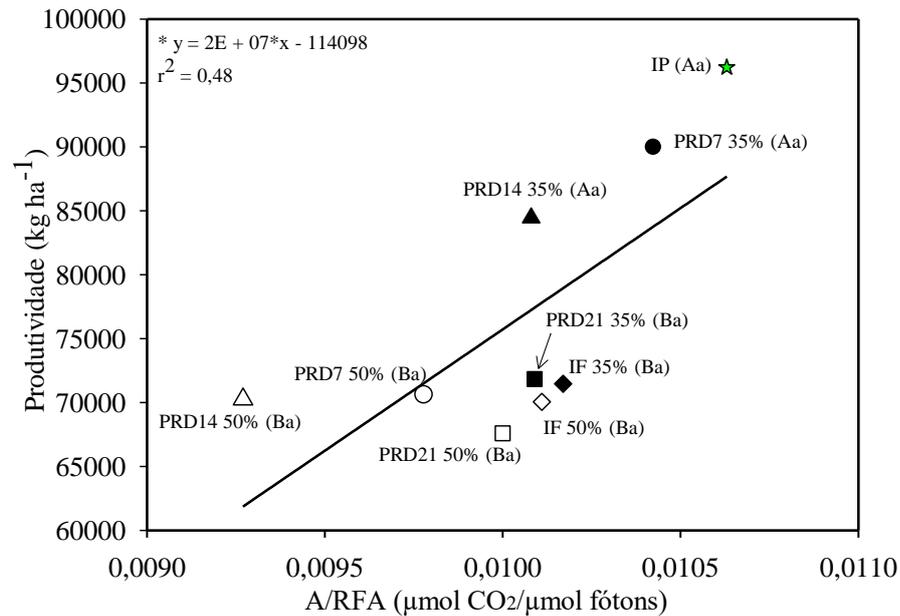


Figura 2.8. Relação entre a produtividade e a A/RFA do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular; e IP: irrigação plena, Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil. *- Significativo ($p < 0,05$); NS - Não Significativo; e () - Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (eixo y) e letra minúscula (eixo x) pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Observa-se na Tabela 2.2 que não houve diferença estatística entre os tratamentos para a variável Ci e a relação Ci/Ca.

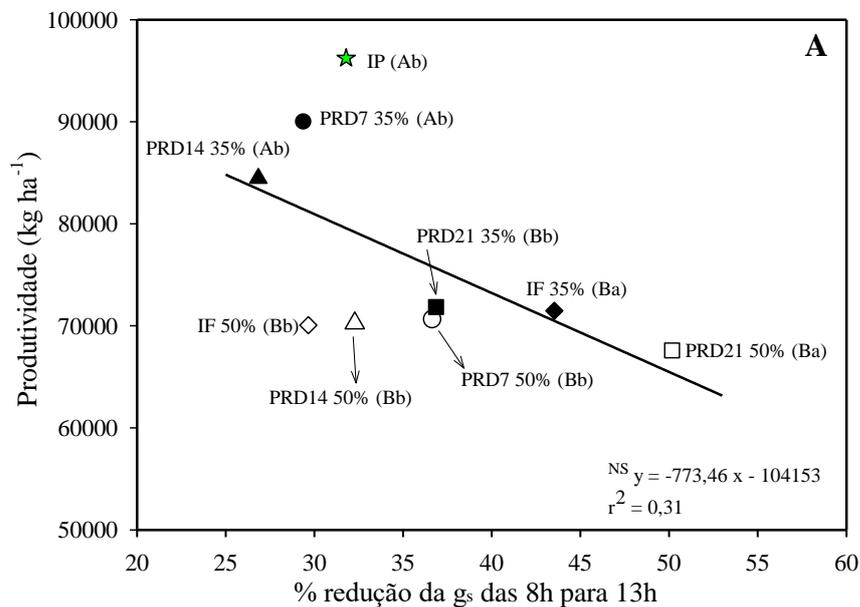
Tabela 2.2. Médias da concentração interna de carbono (Ci) e da relação concentração interna de carbono e a concentração de carbono atmosférico (Ca) (Ci/Ca) do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular; e IP: Irrigação Plena, Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil.

Tratamentos	Ci (μmol CO ₂ mol ⁻¹)	Ci/Ca
PRD7 50%	224,37a	0,534a
PRD7 35%	224,50a	0,544a
PRD14 50%	220,04a	0,551a
PRD14 35%	229,00a	0,577a
PRD21 50%	229,79a	0,557a
PRD21 35%	229,08a	0,522a
IF 50%	221,29a	0,551a
IF 35%	223,58a	0,559a
IP	224,08a	0,574a

Médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

5.3.3. Variação das trocas gasosas das 8 horas para as 13 horas.

Quando se compara os valores de g_s às 13h com os valores às 8h, verifica-se que há uma redução de g_s de 8h para as 13h e a análise da regressão linear entre a % de redução de g_s (8h para 13h) e a produtividade não foi significativa ($p>0,05$) (Figura 2.9A). Contudo, as maiores produtividades (tratamentos IP, PRD7 35% e PRD14 35%) tiveram menor redução de g_s às 13h, quando comparado aos valores desta variável às 8h (Figura 2.9A). Nestes tratamentos IP, PRD7 35% e PRD14 35%, a redução em g_s de 8h para às 13h, foi de 32, 29 e 28%, já nos tratamentos PRD21 50% e IF 35%, que apresentaram produtividades reduzidas, foi de 50 e 44%, respectivamente. Diferente da g_s , a resposta da transpiração (E) foi oposta (positiva e significativa, $p<0,05$) (Figura 2.9B), ou seja, os tratamentos com maior produtividade tiveram um incremento na transpiração, e este incremento em E de 8h para as 13h, foi de 46% no tratamento IP, 29% em PRD7 35% e 31% no tratamento PRD14 35% (Figura 2.9B). Já os tratamentos PRD7 50%, PRD21 50%, PRD21 35%, IF 50% e IF 35% tiveram os menores incrementos em E (15 a 25%) e foram similares entre si (Figura 2.9B).



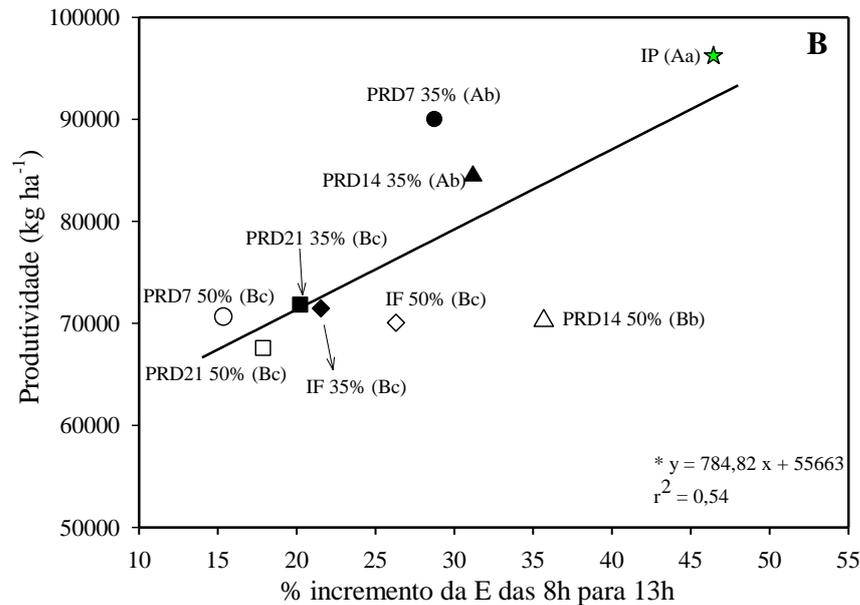


Figura 2.9. (A) Relação entre a produtividade de frutos e a porcentagem de redução da g_s das 8 para as 13 horas, (B) relação entre a produtividade de frutos e a porcentagem de incremento da E das 8 para as 13 horas do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular; e IP: irrigação plena, Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil.*- Significativo ($p < 0,05$); NS - Não Significativo; e () - Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (eixo y) e letra minúscula (eixo x) pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Na Figura 2.10A, observa-se que houve diferença significativa nos valores de g_s entre os horários apenas para o tratamento PRD21 50%, com média de g_s no horário de 8h superior (54%) a observada às 13h. Já para a variável A, das 8h para as 13h a fotossíntese líquida reduziu 51%, 33% e 39%, no tratamento PRD21 50%, IF 50% e PRD7 50%, respectivamente, sendo que os maiores valores de A ocorreram às 8h (Figura 2.10B). Ao se comparar os valores de E em cada horário (8h e 13h), não houve diferenças entre os tratamentos (Figura 2.10C). A diferença estatística foi verificada somente entre os horários nos tratamentos PRD7 35%, PR21 50%, PRD21 35% e IP. Diferente da g_s , as médias da transpiração foram maiores às 13h, quando comparado com as 8h (Figura 2.10C).

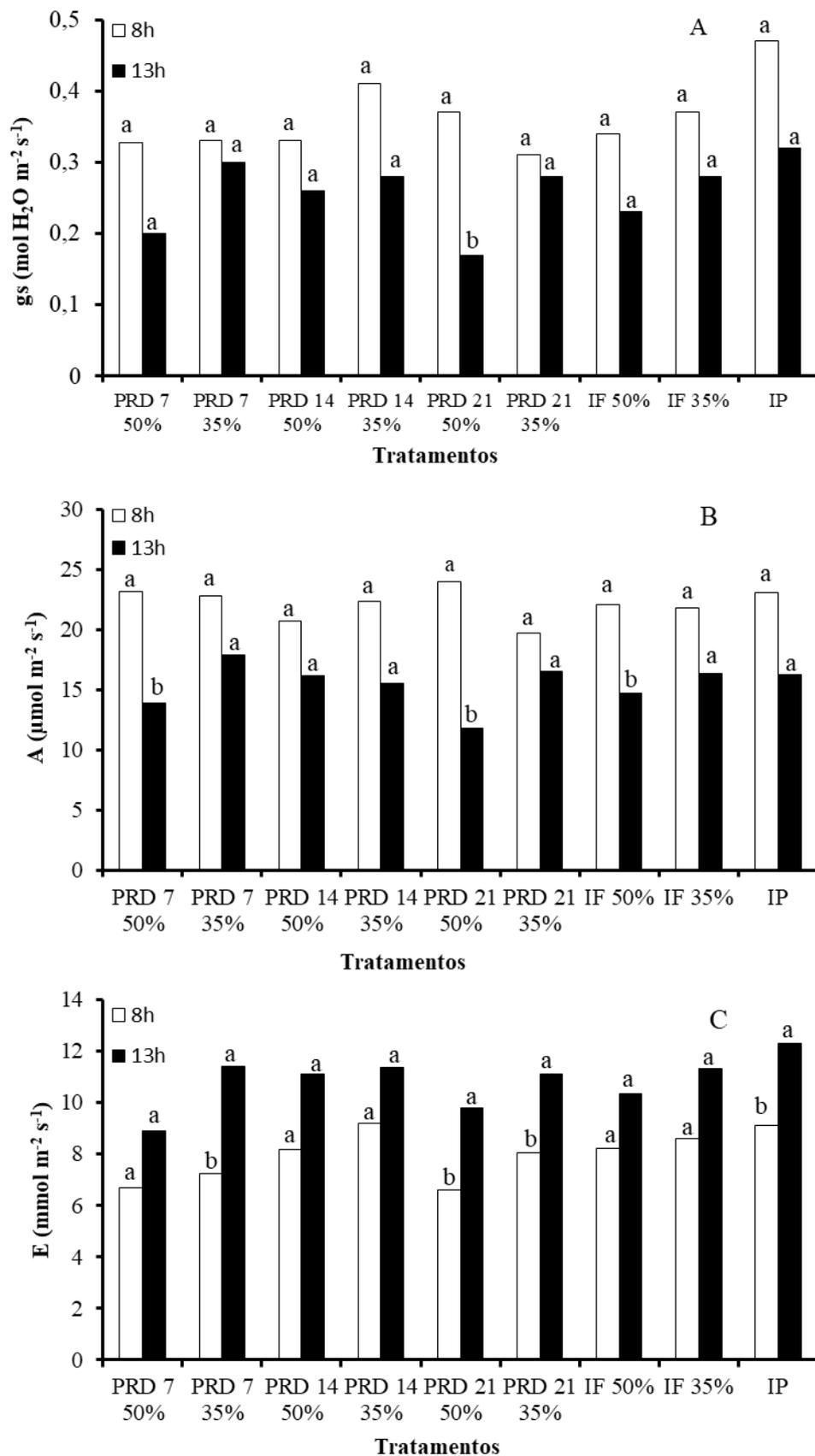


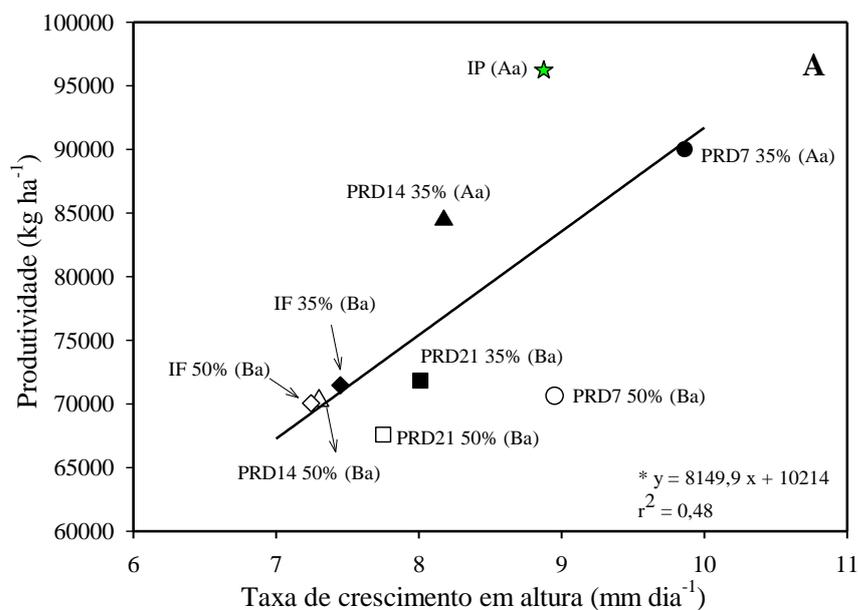
Figura 2.10. (A) Valores médios da condutância estomática (g_s) às 8 horas e às 13 horas, (B) valores médios da fotossíntese líquida às 8 horas e às 13 horas, e (C) valores médios da transpiração (E) às 8 horas e às 13 horas do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos

7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular; e IP: irrigação plena, Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil. *Médias seguidas pela mesma letra no tratamento não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5.3.4. Taxa de crescimento em altura e diâmetro do caule, e eficiência agrônômica do uso de água em altura (EAUA_{altura})

Tanto a taxa diária de crescimento em altura (TCA), bem como a taxa de crescimento em diâmetro do caule (TCD) do mamoeiro foram similares ($p > 0,05$) entre os tratamentos estudados. Entretanto, verifica-se uma relação positiva e significativa ($p < 0,05$) dessas duas variáveis (TCA e TCD) com a produtividade do mamoeiro (Figuras 2.11A e 2.11B), ou seja, quanto maior o incremento diário em diâmetro e altura, maior a produtividade de frutos.

Ao se analisar a relação entre a eficiência agrônômica do uso de água no crescimento em altura (EAUA_{altura}) e a variável eficiência agrônômica do uso de água (EAUA) verificou-se uma relação positiva e significativa ($p < 0,05$) (Figura 2.11C). Os menores valores de EAUA_{altura} foram obtidas nos tratamentos IP, PRD21 35% e IF 35%, com valores médios variando de 0,008 a 0,0012 $\text{mm dia}^{-1} \text{L}^{-1}$. Com exceção do tratamento PRD14 35%, os tratamentos que possibilitaram as maiores eficiências agrônômicas do uso de água (PRD7 35%, PRD7 50%, PRD14 50%, PRD21 50% e IF 50%) também apresentaram as melhores taxas de incremento diário em altura por litro de água aplicado nas irrigações (Figura 2.11C).



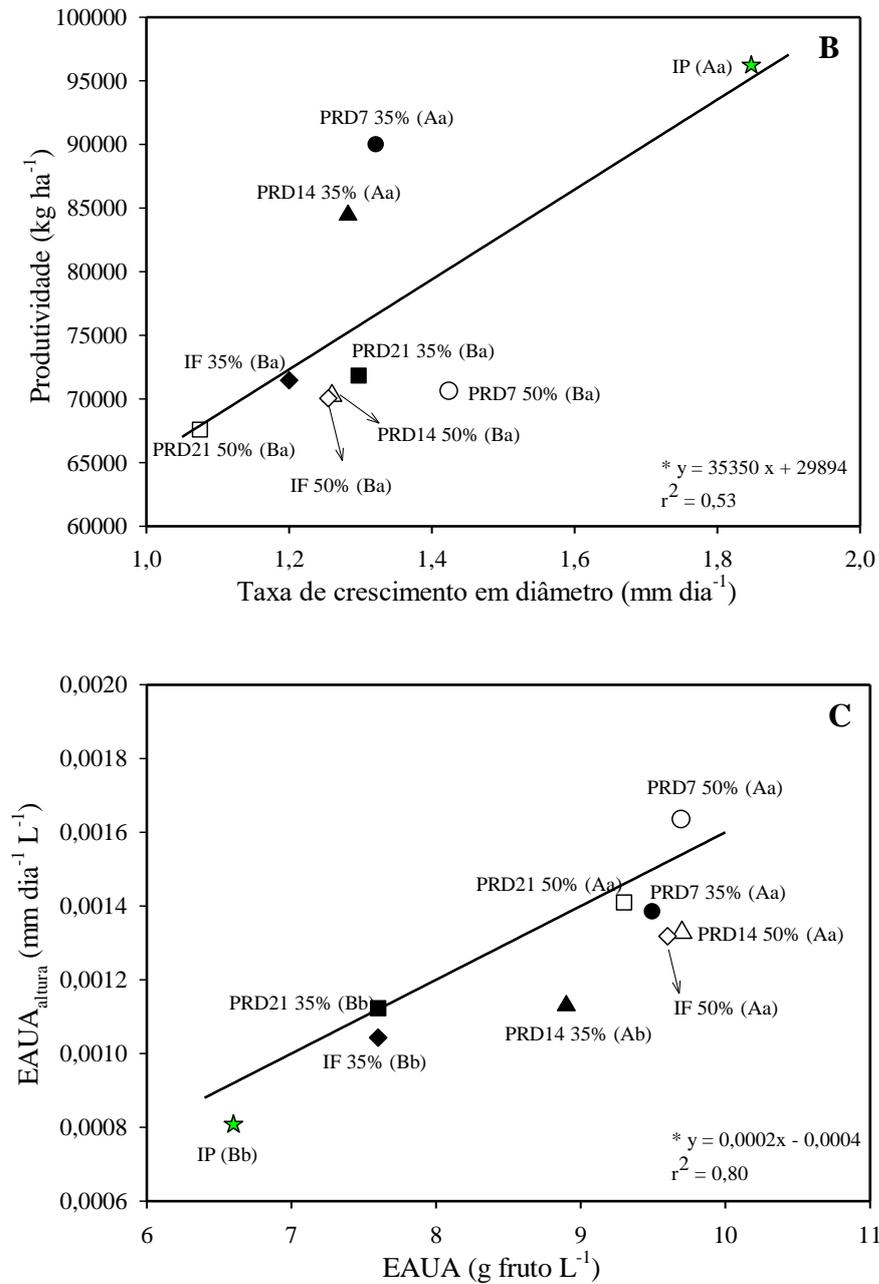


Figura 2.11. (A) Relação entre a produtividade de frutos e a taxa de crescimento em altura, (B) relação entre a produtividade de frutos e a taxa de crescimento em diâmetro do caule, (C) relação entre a eficiência agrônômica do uso de água do crescimento em altura (EAUA_{altura}) e a eficiência agrônômica do uso de água (EAUA) do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular; e IP: irrigação plena, em Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil. *- Significativo ($p < 0,05$); NS - Não Significativo; e () - Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (eixo y) e letra minúscula (eixo x) pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

5.3.5. Pegada hídrica, eficiência intrínseca do uso da água e eficiência agrônômica do uso da água

A regressão linear entre a eficiência agrônômica do uso de água (EAUA) e a eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) foi positiva e significativa ($p < 0,05$) (Figura 2.12). Os tratamentos aplicados influenciaram a eficiência agrônômica do uso de água, a eficiência intrínseca do uso da água e a pegada hídrica (water footprint) do mamoeiro (Figuras 2.12 e 2.13 Tabela 2.3). As eficiências agrônômicas do uso de água dos tratamentos PRD7 (35 e 50%), PRD14 (35 e 50%), PRD21 50% e IF 50%, foram similares entre si e significativamente maiores do que a do tratamento IP, PRD21 35% e IF 35% (Figura 2.12). Os maiores valores da eficiência intrínseca do uso da água foram obtidos nos tratamentos PRD7 35%, PRD7 50% e PRD21 50%, e foram significativos em relação aos demais tratamentos (Figura 2.12).

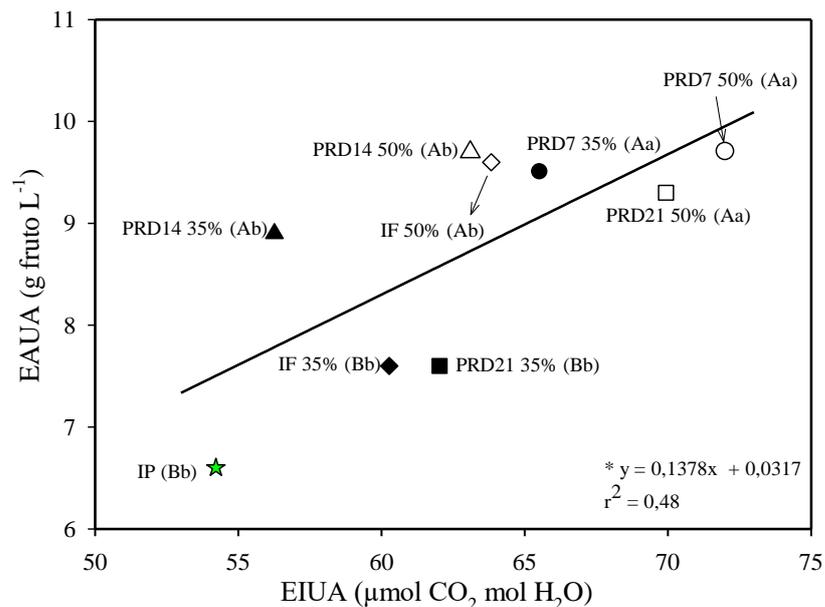


Figura 2.12. Relação entre a eficiência agrônômica do uso da água e a eficiência intrínseca do uso de água do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular; e IP: irrigação plena, Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil. *- Significativo ($p < 0,05$); NS - Não Significativo; e () - Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (eixo y) e letra minúscula (eixo x) pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os tratamentos IP, PRD 21 35% e IF 35% apresentaram as maiores médias da water footprint (WF), considerando apenas a lâmina de irrigação total aplicada (WF_I) (130 a 150 L H₂O kg fruto⁻¹) (Figura 2.13), e considerando também a lâmina de irrigação mais a precipitação efetiva (WF_{I+P}) (178 a 186,26 L H₂O kg fruto⁻¹) (Tabela 2.3). Já as menores

médias para WF_I e WF_{I+P} foram obtidas nos tratamentos PRD7 (35 e 50%), PRD14 (50 e 35%), PRD21 50% e IF 50%. Estes tratamentos, quando comparado com as estratégias de irrigação IP, PRD21 35% e IF 35%, significa uma economia em cerca de 28 a 36 litros de água por cada quilograma de fruto produzido (Figura 2.13 e Tabela 2.3). Além disso, observa-se que a water footprint (WF_I) possui uma correlação negativa e significativa ($p < 0,05$) com a eficiência intrínseca do uso de água, ou seja, à medida que a eficiência intrínseca do uso de água aumentou, houve uma redução na water footprint (Figura 2.13).

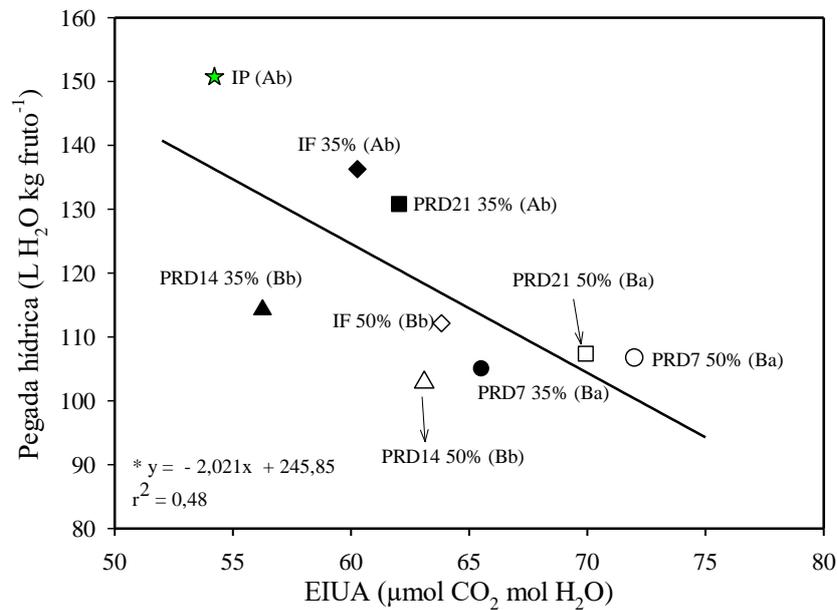


Figura 2.13. Relação entre a pegada hídrica (lâmina total de irrigação) e a eficiência intrínseca do uso de água (A/g_s) do mamoeiro cultivado em PRD: com alternância aos 7, 14 e 21 dias; IF: irrigação fixa em um lado da zona radicular; e IP: irrigação plena, em Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil. * - Significativo ($p < 0,05$); NS - Não Significativo; e () - Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (eixo y) e letra minúscula (eixo x) pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 2.3. Water footprint (irrigação + precipitação, WF_{I+P}) e eficiência agrônômica do uso da água ($EAUA_{I+P}$) do mamoeiro cultivado sob PRD, IF e IP, considerando a lâmina de irrigação total aplicada mais a precipitação efetiva durante o período de condução do experimento em Bom Jesus da Lapa, Bahia, Brasil.

Tratamentos	WF_{I+P} (L H ₂ O kg fruto ⁻¹)	$EAUA_{I+P}$ (kg fruto L ⁻¹)	$EAUA_{I+P}$ (g fruto L ⁻¹)
PRD7 50%	151,40b	0,0066a	6,60a
PRD7 35%	142,95b	0,007a	7,0a
PRD14 50%	152,07b	0,0066	6,57a
PRD14 35%	152,22b	0,00656a	6,56a
PRD21 50%	158,05b	0,00632a	6,32a
PRD21 35%	178,96a	0,00558b	5,58b
IF 50%	152,49b	0,00655a	6,55a
IF 35%	179,88a	0,0055b	5,55b
IP	186,28a	0,0053b	5,36b

Médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo agrupamento pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

5.4. Discussão dos resultados

5.4.1. Mamoeiro x disponibilidade de água no solo

O mamoeiro é umas das plantas frutíferas de maior precocidade de produção (Jiménez et al., 2014), e já a partir do terceiro ou quarto mês após o plantio, as fases de crescimento, floração e maturação dos frutos ocorrem simultaneamente (Coelho et al., 2011). Com base nesse intenso desenvolvimento, em regiões com baixo índice pluviométrico e distribuição irregular de chuvas, como é o caso da região semiárida do Brasil, e ainda com as mudanças climáticas em curso, torna-se imprescindível o suprimento adequado e constante de água por meio da irrigação, para alcançar um excelente potencial produtivo (Coelho et al., 2011). Desta forma, o sucesso da técnica PRD para o mamoeiro está diretamente associado à adoção de uma quantidade de água aplicada inferior à demanda evapotranspirométrica da cultura, de modo que maximize a eficiência agrônômica do uso de água, sem reduzir a quantidade e qualidade dos frutos colhidos. Em condição de déficit hídrico moderado no solo, o mamoeiro possui a capacidade de ajustar osmoticamente a entrada de Na, K e Cl nos tecidos, evitando assim a desidratação ou a perda excessiva de água dos mesmos. Este fato pode conferir a esta espécie uma possível tolerância à seca (Mahouachi et al., 2006). No entanto, a depender do clima, do tipo de solo e da cultura, a redução da água aplicada e a frequência de alternância do lado irrigado podem impactar negativamente na disponibilidade de água no solo para as plantas, podendo assim levar ao déficit hídrico severo (Lima et al., 2015). Contudo, neste trabalho com o genótipo Tainung, na região semiárida do Brasil, o mamoeiro teve capacidade de se ajustar a diferentes lâminas de irrigação, bem como as

diferentes frequências de alternância de aplicação de água no sistema radicular. Desta maneira, este genótipo caracterizou como uma planta com elevada plasticidade relacionada ao estresse hídrico moderado da raiz. Essa plasticidade permite que a aplicação do PRD possa ser aplicada em condição de campo, para elevar a eficiência agronômica no uso da água, bem como reduzir a pegada hídrica (water footprint).

5.4.2. Efeito do PRD nas trocas gasosas foliares

Os efeitos do déficit hídrico do solo associado ao déficit de pressão de vapor do ar (DPV_{ar}) sobre os processos fisiológicos do mamoeiro, dependem da hora do dia (Marler e Mickelbart, 1998), da nebulosidade e da temperatura do ar (Reis e Campostrini, 2008). No presente estudo, os tratamentos PRD21 50%, IF 35% e PRD7 50%, promoveram as maiores reduções de g_s das 8 para as 13 horas, com percentuais variando de 37 a 50% (Figura 2.9A). Em contrapartida, o maior incremento nas taxas transpiratórias das 8 para as 13 horas ocorreu no tratamento IP (Figura 2.9B). De um modo geral, os percentuais de redução (g_s) e incremento (E) estão diretamente associados ao aumento do DPV_{ar} das 8 horas (1,0 kPa) para as 13 horas (3,2 kPa) e a disponibilidade hídrica do solo em cada tratamento (Figura 2.5). Embora tenha ocorrido uma redução em g_s , as taxas de transpiração aumentaram às 13 horas devido ao aumento do $DPV_{folha-ar}$, a qual é a força motora para a saída do vapor d'água por meio dos estômatos [$E = (g_s) \cdot (DPV_{folha-ar})$; Buckley, 2005]. O aumento do $DPV_{folha-ar}$ ocorre devido ao aumento da temperatura da folha associada ao fechamento estomático devido à uma alta demanda hídrica atmosférica (aumento do DPV_{ar}) e/ou déficit hídrico do solo, e também um aumento da radiação solar na superfície da folha (Jones, 2018).

Em condições de PRD, o déficit hídrico do lado submetido ao secamento parcial do sistema radicular pode desencadear uma série de repostas fisiológicas no mamoeiro (Lima et al., 2015; Lima et al., 2016). A redução da g_s é uma das respostas mais rápidas ao déficit hídrico (Schroeder et al., 2001), resultando assim em diminuição da transpiração (Lima et al., 2015; Campostrini et al., 2018). No entanto, neste presente experimento em condição de campo, quando comparado ao tratamento IP, os tratamentos com PRD não causaram redução nos valores de g_s , A e E, tanto no horário de 8h como no horário de 13h (Figura 2.10). Este fato pode demonstrar que o genótipo estudado (Tainung 01) pode ser considerado um genótipo de comportamento anisohídrico, embora Marler et al. (1994) mostraram que o genótipo de mamoeiro 'Red Lady' estudado por eles, quando sob limitação hídrica, reduziu a condutância estomática, em potencial hídrico do solo próximo de -37 kPa, sem haver

alteração no teor relativo de água. Este resultado obtido por Marler et al. (1994) pode mostrar um comportamento isohídrico. Estes autores relatam que a redução em g_s , mantendo o teor relativo de água em valores elevados, pode estar relacionada a uma adaptação desta espécie à limitação hídrica. A mesma sensibilidade dos estômatos pela limitação hídrica do solo foi relatada por Lima et al. (2015), no genótipo ‘Gran Golden’ cultivado em PRD na condição de campo e em casa de vegetação.

Embora, os estômatos desempenham um papel crítico em regular a perda de água pelas plantas e são requeridos para ser responsivos às mudanças relacionadas ao sistema solo-planta-atmosfera (Collins et al., 2010), ao que tudo indica, o PRD alterou a forma como Tainung respondeu à técnica de PRD, efetivamente mudando do comportamento isohídrico para anisohídrico. Tal comportamento anisohídrico neste experimento com Tainung pode ser observado pelos valores similares de g_s entre 8h e 13h (Figura 2.10A), bem como nos valores de C_i e na relação C_i/C_a (Tabela 2.2). De fato, numa mesma espécie, as diferenças nos comportamentos isohídrico/anisohídrico podem ser causadas por condições de crescimento em que a planta está crescendo, como exemplo a velocidade de desidratação do substrato, bem como solos mais friáveis podem propiciar maior capacidade absorção de água por meio do crescimento/aprofundamento do sistema radicular, o que poderia caracterizar uma propriedade intrínseca da planta (Hochbert et al., 2018).

As respostas dos estômatos ao déficit de pressão de vapor do ar (DPV_{ar}) são afetadas significativamente por dois fatores intrinsecamente interligados: a concentração do ABA e a secagem do solo (Davies et al., 2002; Mahouachi et al., 2007; Collins et al., 2010). A resposta das plantas ao ABA muda consideravelmente com a variação do DPV_{ar} ou com potencial de água nas folhas, onde os sinais hidráulicos e químicos desempenham um papel no fechamento estomático (Tardieu e Simonneau, 1998). Embora os valores de g_s tenham reduzido às 13h no tratamento PRD21 50% (Figura 2.10A), os estômatos do genótipo Tainung parecem não ser sensibilizados pela limitação hídrica do solo nos tratamentos utilizados, em combinação com valores elevados do DPV_{ar} verificados nas épocas em que se avaliaram as trocas gasosas (Figura 2.4). Assim, nas condições estudadas, os estômatos do genótipo Tainung tiveram reduzidas sensibilidades às limitações hídricas impostas pelos tratamentos aplicados. Contudo, mesmo com reduzida sensibilidade, houve um aumento na eficiência agrônômica e intrínseca no uso da água (Figura 2.12 e Tabela 2.3), e na redução dos valores de pegada hídrica (Figura 2.13 e Tabela 2.3).

A redução da abertura estomática causa uma menor disponibilidade de CO_2 nos espaços intercelulares, reduzindo a assimilação nos sítios de carboxilação da Rubisco,

(Brodrribb et al., 2015). No entanto, neste trabalho, a concentração interna de CO₂ no mesófilo, bem como a relação Ci/Ca, não foram estatisticamente diferentes (Tabela 2.2), o que de fato fortalece o não comprometimento bioquímico dos processos associados às trocas gasosas foliares do genótipo estudado.

5.4.3. Efeito do PRD no uso da água

Embora não se tenha observado diferenças significativas entre os tratamentos aplicados nas variáveis relacionadas às trocas gasosas (g_s , E e A) (Figura 2.10 e Tabela 2.2), as variáveis taxa de crescimento em altura (TCA) e taxa de crescimento em diâmetro (TCD) tiveram uma relação positiva e significativa com a produtividade (Figuras 2.11A e 2.11B), com destaque para os tratamentos IP e PRD7 35%, para a variável TCA. Este fato pode mostrar que, estes tratamentos podem ter proporcionado maior hidratação das plantas do genótipo Tainung, com reflexos em causar uma maior pressão de turgescência nos tecidos o que pode ter proporcionado maior incremento na área foliar fotossintética total. O tratamento PRD7 35% recebeu uma menor quantidade de água quando comparado ao tratamento IP, no entanto, este tratamento (PRD7 35%) teve uma maior EIUA e EAUA, e reduziu a WF (Figuras 2.12 e 2.13). Tais respostas mostram a eficiência deste tratamento no mamoeiro ‘Tainung’ cultivado na região semiárida brasileira.

A eficiência intrínseca no uso da água (A/g_s) é usada como determinante para delinear o desempenho de culturas agrícolas sob condições de estresse hídrico. Dessa forma, genótipos ou tratamentos que resultam no aumento da eficiência intrínseca quase sempre são tidos como superiores porque reduzem a água consumida por CO₂ assimilado (Blumm, 2009). No entanto, quase sempre, o aumento na eficiência intrínseca no uso da água vem às custas do fechamento estomático acentuado e uma moderada redução na fotossíntese. Desta forma, a maior eficiência intrínseca no uso água pode ser anulada pelo menor rendimento das culturas, uma vez que o crescimento e produtividade estão associados com a abertura estomática (Blumm, 2009). Portanto, a eficiência agrônômica do uso água (relação entre o crescimento/produtividade e água transpirada pela cultura) é mais apropriada no contexto da produção agrícola (Blumm, et al., 2009; Ferraz et al., 2016).

A EAUA_{altura} (mm dia⁻¹ L⁻¹) e a EAUA (g fruto L⁻¹) tiveram valores reduzidos com aumento da lâmina de irrigação, com exceção do tratamento PRD7 35% que teve um valor elevado (Figura 2.11C). Embora tenha recebido uma lâmina de água superior à dos tratamentos submetidos à redução de 50% da LB (Tabela 2.1), o tratamento PRD7 35% teve

uma EAU_{altura} estatisticamente semelhante à dos demais tratamentos com maiores valores das médias destes (Figura 2.11C). Essa semelhança em termos de eficiência do uso de água pode ser justificada pela manutenção da taxa fotossintética líquida em níveis adequados destas plantas do tratamento PRD7 35% (Figura 2.6). A maior frequência de alternância do lado irrigado (7 dias), associada à aplicação da lâmina de irrigação com redução de 35% da LB, possivelmente tenha contribuído para conservação do conteúdo relativo de água na folha (Pérez-Pérez et al., 2018) dentro de uma faixa onde a capacidade fotossintética e o rendimento quântico não foram negativamente afetados (Campostrini et al., 2018). Tal fato pode ter contribuído para a manutenção da produção de fotoassimilados para o suporte no crescimento e produtividade.

Embora as taxas fotossintéticas líquidas não tenham apresentado diferenças significativas entre as diferentes estratégias de irrigação estudadas (Figuras 2.6 e 2.10B), não pode ser descartada a possibilidade da existência de um efeito acumulativo, ou seja, o somatório das pequenas diferenças marginais, dia após dia, durante o período de condução do experimento. Tal efeito pode ter contribuído de certa forma na produtividade final do mamoeiro submetidos aos diferentes tratamentos de irrigação e na diferença significativa entre estes (Figura 2.7).

O cultivo do mamoeiro em condições de água disponível do solo inferior a 70% por longos períodos pode afetar negativamente a produtividade de frutos (Campostrini et al., 2018; Lima et al., 2015). Os resultados apresentados no presente estudo corroboram com essa informação, visto que as estratégias (IP, PRD7 35% e PRD14 35%) com maior disponibilidade de água no solo (Figura 2.5) não promoveram reduções significativas na produtividade dos frutos (Figura 2.7), e ainda tiveram elevados valores da eficiência quântica da fotossíntese (A/RFA) (Figura 2.8).

Torna-se importante destacar que os tratamentos PRD14 35% e IF 35% tiveram taxas fotossintéticas muito similares. No entanto, a produtividade do primeiro tratamento foi 15% superior ao IF 35%. Portanto, a alternância do lado de irrigação pode melhorar a eficiência intrínseca e agrônômica do uso da água, provavelmente associado com melhor desempenho do sistema radicular (Li et al., 2007). De fato, a irrigação fixa pode restringir o crescimento do sistema radicular no lado seco, o qual poderia reduzir a capacidade de absorção de macro e micronutrientes (Li et al., 2007), o que pode refletir na produtividade (Figura 2.7). Torna-se importante destacar que, apesar da redução de produtividade de frutos nos tratamentos PRD7 50%, PRD14 50%, PRD21 (50 e 35%) e o IF (50 e 35%), em comparação com os outros três tratamentos com melhores produtividades (IP, PRD7 35% e PRD14 35%) (Figuras 2.7), essa

média de produtividade (67 a 70 kg ha⁻¹) é superior à média brasileira (39.892 kg ha⁻¹) e do Estado da Bahia (36.009 kg ha⁻¹), com base no levantamento realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019).

Além da EIUA e EAUA, a pegada hídrica é uma importante variável associada com o consumo de água por uma cultura, em um certo local e em dado momento (Nouri et al., 2019). Uma maior EAUA reflete em uma menor pegada hídrica, como pode ser observado no tratamento PRD7 35% (Figura 2.13 e Tabela 2.3). Contudo, é importante destacar que também houve uma relação negativa e significativa ($p < 0,05$) entre a pegada hídrica e EIUA (Figura 2.13). Desta forma, as estratégias PRD7 35% e PRD14 35% são as mais indicadas para serem introduzidos em áreas irrigadas de produção de mamoeiro, pois apresentaram uma produtividade semelhante ao tratamento IP e uma reduzida pegada hídrica, na mesma faixa dos tratamentos com redução da LB de 50% (Figura 2.13 e Tabela 2.3).

5.5. Conclusões

Com base nos resultados desse estudo, não houve diferenças significativas entre os tratamentos aplicados para a variável condutância estomática (g_s), transpiração (E) e fotossíntese líquida (A). A taxa de crescimento em altura e a taxa de crescimento em diâmetro do caule apresentaram uma relação positiva e significativa com a produtividade. Quando comparado ao tratamento IP, a menor redução na quantidade de água aplicada (PRD7 35% e PRD14 35%) pode aumentar a eficiência agrônômica do uso de água (EAUA) sem comprometer a produtividade e as trocas gasosas, as quais foram similares ao tratamento IP. O mamoeiro 'Tainung 01', nas condições de cultivo deste trabalho, mostrou-se ter um comportamento mais próximo do anisohídrico. O secamento parcial da zona radicular com frequência de alternância do lado irrigado com intervalos de 7 a 14 dias e uma redução de 35% na lâmina de irrigação aplicada pode ser uma técnica viável para reduzir a pegada hídrica do mamoeiro, aumentando assim o uso efetivo da água nas condições semiáridas.

5.6. Referências

- Abbud, A., Dará, S., Abre, W., Brian, M., 2019. Differential agro-physiological responses induced by partial root-zone drying irrigation in olive cultivars grown in semi-arid conditions. *Environmental*, v. 167, p.1-17. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.103863>
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, Italy.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 711-728. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Bernardo, S.; Mantovani, E. C.; Silva, D. D.; Soares, A. A. *Manual de Irrigação*. 9. ed. Viçosa: UFV, 2019. 545p.
- Blum, A., 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research*, v.112, p.119-123. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.03.009>.
- Brodribb, T.J., McAdam S.A.M., 2017. Evolution of the stomatal regulation of plant water content. *Plant Physiology*, v.174, p.639–649. <https://doi.org/10.1104/pp.17.00078>
- Buckley, T.N., 2005. The control of stomata by water balance. *New Phytologist*, v.168, p.275–292. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01543.x>
- Campostrini, E., Glenn, D.M., Yamanishi, O.K., 2010. Papaya: ecophysiology of growth and production. In: DaMatta, F. (Ed.), *Ecophysiology of Tropical Tree Crops*. Nova Science Publishers, New York, p.287-307.
- Campostrini, E., Glenn, D.M., 2007. Ecophysiology of papaya: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.19, p.413-424. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400010>
- Campostrini E., Schaffer, B., Ramalho, J.D., González, J.C.; Rodrigues, W.P., Silva, J.R., Lima, R.S., 2018. Environmental factors controlling carbon assimilation, growth, and yield of papaya (*Carica papaya* L.) under water-scarcity scenarios. In: Tejero, I.F.G., Zuazo, V.H.D. (eds) *Water scarcity and sustainable agriculture in semiarid environment*. Academic Press, London, UK. 24. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813164-0.00019-3>
- Coelho, E. F., Oliveira, A. M. G., Silva, J. G. F., Coelho Filho, M. A., Cruz, J. L. Irrigação e Fertirrigação na cultura do mamão. In: Souza, V. F.; Marouelli, W. A.; Coelho, E. F.; Pinto, J. M.; Coelho Filho, M. A. (Org.). *Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças*. 1ed., Brasília, 2011, p.442-472.
- Coelho, E.F., Santos, M.R., Donato, S.L.R., Cruz, J.L., Oliveira, P.M., Castricini, A., 2019. Soil-water-plant relationship and fruit yield under partial root-zone drying irrigation on

- banana crop. *Scientia Agricola*. v.76, p.362-367. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2017-0258>.
- Collins, M.J., Fuentes, S., Barlow, W.R., 2010. Partial rootzone drying and deficit irrigation increase stomatal sensitivity to vapour pressure deficit in anisohydric grapevines. *Functional Plant Biology*, v.37, p.128–138. <https://doi.org/10.1071/FP09175>
- Consoli, S., Stagno, F., Vanella, D., Boaga, J., Cassiani, G., Roccuzzo, G., 2017. Partial rootzone drying irrigation in orange orchards: Effects on water use and crop production characteristics. *European Journal of Agronomy*, v.82, p.190-202. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jped.2016.11.001>
- Davies, W.J., Wilkinson S, Loveys, B., 2002. Stomatal control by chemical signalling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. *New Phytologist*, v.153, p.449–460. <https://doi.org/10.1046/j.0028-646X.2001.00345.x>
- El-Sadek, A., 2014. Water use optimization based on the concept of partial root zone drying. *Ain Shams Engineering Journal*, v.5, p.55-62. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2013.09.004>
- Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3 ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.
- Ferraz, T.M., Rodrigues W.P., Torres-Netto A., Reis, F.O., Peçanha, A.L., Figueiredo, F.A.M.M.A., Sousa, E.F., Glenn, D.M., Campostrini, E., 2016. Comparison between single-leaf and whole-canopy gas exchange measurements in papaya (*Carica papaya* L.) plants. *Scientia Horticulturae*, v. 209, p.73–78. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.06.014>
- Ferreira, D. F. Sisvar: versão 4.3 (Build 43). Lavras: Departamento de Ciências Exatas, Universidade Federal de Lavras, 2003.
- Guang-Cheng, S., NA, L., Zhan-Yu, Z., Shuang-En, Y., Chang-Ren, C., 2010. Growth, yield and water use efficiency response of greenhouse-grown hot pepper under Time-Space deficit irrigation. *Scientia Horticulturae*, v.126, p.172-179. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.07.003>
- Hochberg, U., Rockwell, F. E., Holbrook, N. M., Cochard, H., 2018. Iso/Anisohydry: A Plant–Environment Interaction Rather than a simple hydraulic trait. *Trends in Plant Science*, v.23, p.112-120. <http://doi.org/10.1016/j.tplants>
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 2019. Sidra: Produção Agrícola Municipal. Brasília, DF, Brasil. <https://sidra.ibge.gov.br> (acesso em 18 setembro de 2019).
- IPCC. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O.; Pichs-Madruga, R.; Sokona, Y.; Farahani, E.; Kadner, S.; Seyboth, K.; Adler, A.; Baum, I.; Brunner, S.; Eickemeier, P.; Kriemann, B.; Savolainen, J.; Schlömer, S.; Von Stechow, C.; Zwickel, T.; Minx J.C. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2014.

- Jiménez, V.M., Mora-Newcomer, E., Gutiérrez-Soto, M. Biology of the Papaya Plant R. Ming and P.H. Moore (eds.), *Genetics and Genomics of Papaya*, Plant Genetics and Genomics: Crops and Models 10, Springer Science Business Media, New York, 2014.
- Jones, H.G., 2018. Thermal imaging and infrared sensing in plant ecophysiology. In Sánchez-Moreiras, A.M., Reigosa, M.J. eds. *Advances in Plant Ecophysiology Technique*. Springer, New York, USA, p.135-151. [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(04\)41003-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(04)41003-9)
- Jovanovic, Z., Stikic, R. 2018. Partial Root-Zone Drying Technique: from water saving to the improvement of a Fruit Quality. *Frontiers in Sustainable Food Systems*.v.1, p.1-9. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2017.00003>
- Keller, J., Bliesner, R.D., 1990. *Sprinkle and trickle irrigation*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Lamaoui, M., Chakhchar, A., Kharrassi, Y., Wahbi, S., Modafar, C., 2018. Morphological, physiological, and biochemical responses to water stress in melon (*Cucumis melo*) subjected to regulated deficit irrigation (RDI) and partial rootzone drying (PRD). *Journal of Crop Science and Biotechnology*, v.21, p.407-416. <https://doi.org/10.1007/s12892-018-0122-0>
- Li, F., Liang J., Shaozhong, K., Jianhua, Z., 2007. Benefits of alternate partial root-zone irrigation on growth, water and nitrogen use efficiencies modified by fertilization and soil water status in maize. *Plant Soil*, v.295, p.279–291. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9283-8>
- Lima, R.S.N., Figueiredo, F.A.M.M.A., Martins, A.O., Deus, B.C.S., Ferraz, T.M., Gomes, M.M.A., Sousa, E.F., Glenn, D.M., Campostrini, E., 2015. Partial rootzone drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) effects on stomatal conductance, growth, photosynthetic capacity, and water-use efficiency of papaya. *Scientia Horticulturae*, v.183, p.13-22. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.12.005>
- Lima, R.S.N., García-Tejero, I., Lopes, T.S., Costa, J.M., Vaz, M., Durán-Zuazo, V.H., Chaves, M., Glenn, D.M., Campostrini, E., 2016. Linking thermal imaging to physiological indicators in *Carica papaya* L. under different watering regimes. *Agricultural Water Management*, v.164, p.148-157. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.07.017>.
- Mahouachi, J., Socorro, A.R., Talon, M., 2006. Responses of papaya seedlings (*Carica papaya* L.) to water stress and re-hydration: growth, photosynthesis and mineral nutrient imbalance. *Plant and Soil*, v.281, p.137-146. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-3935-3>
- Mahouachi, J., Arbona, V., Gómez-Cadenas, A.G., 2007. Hormonal changes in papaya seedlings subjected to progressive water stress and re-watering. *Plant Growth Regul*, v.53, p.43-51. <https://doi.org/10.1007/s10725-007-9202-2>
- Marengo, J.A., Bernasconi, M., 2015. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. *Climatic Change*, v.129, p.103–115. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1310-1>

- Marengo, J.A., Torres, R.R., Alves, L.M., 2017. Seca no Nordeste do Brasil - passado, presente e futuro. *Theoretical and Applied Climatology*, v.129, p.1189–1200. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>
- Marler, T.E., George, A.P., Nissen, R.J., Andersen, P.C., 1994. Miscellaneous tropical fruits. In: Schaffer, B., Andersen, P.C. (Eds.), *Handbook of Environmental Physiology of Fruits Crops*. V.II, Subtropical and Tropical Crops. CRC Press, Florida, p.199-224.
- Marler, T.E., Mickelbart, M.V., 1998. Drought, leaf gas exchange, and chlorophyll fluorescence of field grown papaya. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.23, p.714-718. <https://doi.org/10.21273/JASHS.123.4.714>
- Morais, P.L.D., Silva, G.G., Menezes, J.B., Maia, F.E.N., Dantas, D.J., Sales Júnior, R., 2007. Pós-colheita de mamão híbrido UENF/Caliman 01 cultivado no Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.29, p.666-670. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452007000300046>.
- Nouri, H., Stokvis B., Blatchford, M., Hoekstra, A.Y., 2019. Water scarcity alleviation through water footprint reduction in agriculture: The effect of soil mulching and drip irrigation. *Science of the Total Environment Journal*, v.653, p.241-252. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.311>
- Pérez-Pérez, J.G., Navarro, J.M., Roblesa, J.M., Dodd, I.C., 2018. Prolonged drying cycles stimulate ABA accumulation in *Citrus Macrophylla* seed lings exposed to partial rootzone drying. *Agricultural Water Management*. v.210, p.271-278. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.020>
- Posse, R.P., Bernardo, S., Sousa, E.F., Gottardo, R.D., 2008. Evapotranspiração e coeficiente da cultura do mamoeiro. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.628-690. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162008000400008>
- Reis, F.O.; Campostrini, E., 2008. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica potencial em mamoeiro do grupo ‘Formosa’ cultivado em condição de campo. *Bragantia*, v.67, p.815-822. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000400002>
- Sampaio, A.H.R., Coelho Filho, M.A., Coelho, E.F., Daniel, R., 2014. Physiological indicators of ‘Thahiti’ acid lime under regulated deficit irrigation and partial rootzone drying irrigation. *Irriga*, v.19, p.292-301. <http://200.145.140.50/.../982>
- Sanches, N.F., Dantas, J.L.L. O cultivo do mamão. Cruz das Almas, Embrapa Mandioca e Fruticultura, (Circular Técnica, 34), 1999.
- Santos, M.R., Donato, S.L.R., Coelho, E.F., Cotrim Junior, P.R.F., Castro, I.N., 2016a. Irrigation deficit strategies on physiological and productive parameters of ‘Tommy Atkins’ mango. *Revista Caatinga*, v.29, p.173-182. <https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n120rc>
- Santos, M.R., Neves, B.R., Silva, B.L., Donato, S.L.R., 2015. Yield, water use efficiency and physiological characteristic of “Tommy Atkins” mango under partial rootzone drying

- irrigation system. *Journal of Water Resource and Protection*, v.7, p.1029-1037. <http://10.4236/jwarp.2015.713084>
- Santos, M.R., Donato, S.L. R., Coelho, E.F., Arantes, A. de M., Coelho Filho, M.A., 2016b. Irrigação lateralmente alternada em lima ácida 'Tahiti' na região norte de Minas Gerais. *Irriga*, v. 1, p.71-88. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n01p71-88>
- Schroeder, J. I., Allen, G. J., Hugouvieux, V., Kwak, J. M., Waner, D., 2001. Guard cell signal transduction. *Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology*, v.52, p.627–658. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.52.1.627>
- Sezen, S.M., Yazar, A., Tekin, S., 2019. Physiological response of red pepper to different irrigation regimes under drip irrigation in the Mediterranean region of Turkey. *Scientia Horticulturae*, v.245, p.280-288. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.037>
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.M., Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.
- Tardieu, F., Simonneau, T., 1998. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: Modelling isohydric and anisohydric behaviours. *Journal of Experimental Botany*, v.49, p.419-432. https://doi.org/10.1093/jxb/49.Special_Issue.419
- Van Genuchten, M.T., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.44, p.892-898.
- Yuan, J.; Xu, M.; Duan, W.; Fan, P.; Li, S. Effects of whole-root and half-root water stress on gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in apple trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.138, p.395-402. <https://doi.org/10.21273/JASHS.138.5.395>

6. Considerações finais

Os cenários futuros de mudanças climáticas globais preveem um aumento da temperatura do ar, da evapotranspiração das culturas e situações de secas severas. Essa nova condição de clima causará problemas em regiões que possuem uma expressiva produção de frutas e um histórico de secas consolidado, como é o caso da região semiárida do Norte de Minas Gerais e dos estados do Nordeste do Brasil. Nessa região, a estação chuvosa se caracteriza por chuvas de alta intensidade, curta duração, distribuição irregular e com totais anuais entre 400 e 800 mm. O que já caracteriza a necessidade de irrigação das culturas na maior parte do ano, por exemplo, nos pomares de mamoeiro. Essa cultura é altamente produtiva em áreas semiáridas e contribui com 58% da produção total de mamão no Brasil. O mamoeiro requer uma alta quantidade de água para atingir uma produção agronomicamente satisfatória. Assim, técnicas de manejo da irrigação que visam reduzir a demanda de água do mamoeiro sem perda significativa de produtividade e qualidade dos frutos, devem ser desenvolvidas, estudadas, compreendidas e introduzidas nas áreas irrigadas da região semiárida.

Este trabalho utilizou a técnica do secamento parcial da zona radicular (“partial rootzone drying”, PRD) com intuito de reduzir a demanda de água do mamoeiro e constatou que é possível economizar cerca de 35% da lâmina de irrigação diária sem comprometer a produtividade e as trocas gasosas do mamoeiro. Além disso, a frequência de alternância do lado irrigado de 7 e 14 dias associada a uma redução de 35% na lâmina de irrigação é uma estratégia viável para redução da pegada hídrica do mamoeiro nas condições edafoclimáticas do semiárido brasileiro. Apesar da variação da disponibilidade de água no solo sob os diferentes regimes de PRD, as variáveis de crescimento (diâmetro do caule, área foliar, taxa de crescimento em altura e em diâmetro do caule), trocas gasosas (g_s , E e A) e a qualidade de frutos (SS, AT e SS/AT) do mamoeiro, em geral, não foram sensíveis as frequências de alternância do lado irrigado.

Diante das incertezas das mudanças climáticas e dos desafios para manutenção da produtividade do mamoeiro sob limitação de água no solo, altas temperaturas e demandas evapotranspirométricas, os resultados apresentados nesse estudo adicionam conhecimentos científicos para uma melhor compreensão das relações fisiológicas nessas condições e, por fim, na implantação da técnica do secamento parcial da zona radicular em áreas irrigadas com mamoeiro em condições semiáridas.

Além disso, vale ressaltar que os resultados encontrados no presente estudo podem servir de base para futuros estudos e auxiliar pesquisadores e profissionais da área de Engenharia Agrícola (manejo de irrigação) e Agronomia (horticultura e fisiologia vegetal) no manejo sustentável da fruticultura irrigada e na melhoria da eficiência no uso da água. Por fim, em atenção aos trabalhos futuros, os estudos que combinem as frequências de alternância do lado irrigado com intervalos menores (3 e 5 dias) e redução de 20 a 40% da lâmina bruta de irrigação, em diferentes condições de clima e de solo, são encorajados e podem fornecer conclusões semelhantes ou distintas das relatadas no presente estudo.