

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ  
CAMPUS PROF.<sup>a</sup> CINOBELINA ELVAS  
PROGRAMA PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - PRODUÇÃO VEGETAL

**ÁCIDOS FÚLVICOS E AMINOÁCIDOS LIVRES NA POTENCIALIZAÇÃO DE  
ABSORÇÃO E EFEITO DE PACLOBUTRAZOL EM MANGUEIRA 'KEITT'**

LUAN DOS SANTOS SILVA

BOM JESUS-PI  
2019

**ÁCIDOS FÚLVICOS E AMINOÁCIDOS LIVRES NA POTENCIALIZAÇÃO DE  
ABSORÇÃO E EFEITO DE PACLOBUTRAZOL EM MANGUEIRA 'KEITT'**

LUAN DOS SANTOS SILVA  
Engenheiro Agrônomo

Orientador: PROF. DR. ÍTALO HERBERT LUCENA CAVALCANTE  
Co-Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Marcelle Almeida da Silva

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí-UFPI, para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias – Área de Concentração (Produção vegetal).

BOM JESUS-PI  
2019

S586a Silva, Luan dos Santos.

Ácidos fúlvicos e aminoácidos livres na potencialização de absorção e efeito de paclobutrazol em mangueira 'Keitt'. / Luan dos Santos Silva. – 2019.

68 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Área de Concentração (Produção Vegetal), Bom Jesus-PI, 2019.

Orientação: “Prof. Dr. Ítalo Herbert Lucena Cavalcante”.

1. Indução floral. 2. Ácido giberélico. 3. Substâncias húmicas. 4. *Mangifera indica* L.. I. Título.

CDD 634.44

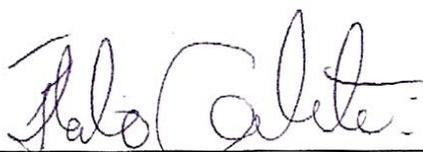
**ÁCIDOS FÚLVICOS E AMINOÁCIDOS LIVRES NA POTENCIALIZAÇÃO DE  
ABSORÇÃO E EFEITO DE PACLOBUTRAZOL EM MANGUEIRA 'KEITT'**

Por

LUAN DOS SANTOS SILVA

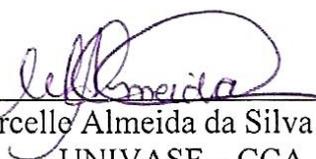
Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de  
MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, Área de Concentração (Produção Vegetal)

Aprovado em: 15/02/2019



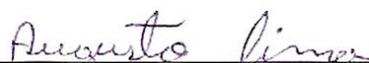
---

Prof. Dr. Ítalo Herbert Cavalcante Lucena (Orientador)  
UNIVASF – CCA



---

Prof. Dr.<sup>a</sup> Marcelle Almeida da Silva (Co-orientadora)  
UNIVASF – CCA



---

Prof. Dr. Augusto Miguel Nascimento Lima (Examinador externo)  
UNIVASF – CCA

*Aos meus pais, Vinício Rosa da Silva e  
Josenilde Abade dos Santos, por todo  
ensinamento, apoio e exemplos de integridade  
que me transmitiram.*

Dedico

## AGRADECIMENTO

Agradeço;

As pessoas que me acompanham, protegem e me dão forças; mãe, papai, e os outros dois vértices do triângulo equilátero, Vanessa dos Santos Silva e Lucas dos Santos Silva.

A empresa Aminoagro, que deu suporte à realização do experimento.

A fazenda Clorofila Agropecuária, onde foi realizado o experimento, em especial, o proprietário Luiz Eduardo C. de Souza Ferraz.

A Universidade Federal do Piauí (UFPI), lugar onde cresci profissional, intelectual e humanamente.

A Universidade Federal do Vale do São (UNIVASF), que me proporcionou suporte para desenvolver meu experimento.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo que me permitiu realizar esse experimento.

Ao meu orientador, Dr. Ítalo Herbert Lucena Cavalcante, por me fazer adquirir senso de independência, proatividade e crítica. Cresci muito com seus ensinamentos, conselhos e exemplos.

Aos docentes Dr. Vespasiano Borges de Paiva Neto e Dr.<sup>a</sup> Marcelle Almeida da Silva, que acompanharam meu experimento de perto, do campo ao laboratório.

Agradeço aos professores Dr. Augusto Miguel Nascimento Lima e Dr.<sup>a</sup> Marcelle Almeida da Silva por cederem gentilmente os laboratórios de Química e Fertilidade do Solo e Fisiologia Vegetal, respectivamente, da UNIVASF-CCA/Petrolina-PE, para realização das análises.

Ao Central de Análises de Fármacos, Medicamentos e Alimentos (CAFMA) da UNIVASF, na pessoa da professora Dr.<sup>a</sup> Larissa Araújo Rolim e Msc. Emanuella Chiara Valença Pereira e ao Instituto de Pesquisa em Substâncias Bioativas (IPESB), aqui representado por Dr.<sup>a</sup> Paula Tereza de Souza e Silva e Dr. Luíz Claudio Corrêa, que gentilmente cederam os laboratórios, tempo e disposição para ajudar na realização de partes das análises.

Ao grupo de pesquisa FRUTVASF, que foram de suma importância para realização deste experimento, e com os quais aprendi muito. Em especial Tullyus Rubens

de Souza Silva, Raí Nascimento do Carmo, Maria Poliana Martins Pereira, Gabriel Freire Rocha dos Santos, Rosiclea de Carvalho Lopes, Renata Araújo e Amariz, Lisandra da Silva Souza, Daniel de Almeida Carreiro, Jorge Leandro Brandão da Silva, Luciana Guimarães Sanches, Jackson Texeira Lobo, Alana Juliete da Silva Santos, Jasmine Pereira de Sena, Cleriton de Souza, Guilherme Neves Ferreira dos Santos, Jeferson Antonio Cavacini, Ana Paula Torres, Laiane Eugênia Delmondes, Jenilton Gomes da Cunha, Kellem Ângela Oliveira, Vanuza de Souza e Diogenes de Souza Brito.

A minha companheira de projeto, Mariana Pereira Oliveira, por me auxiliar no desenvolver do experimento com extrema competência.

A Kalline Mendes Ferreira, pessoa empenhada, com quem dividi muitas horas de laboratório e conhecimentos.

Aos meus amigos da ‘Jupizada’, do ‘Cristo Luz’ e da turma de mestrado ‘Fitoteclindos’, que me incentivaram, alegraram e ajudaram durante todo esse tempo.

A ciência sempre foi colaborativa.

Muito obrigado!

## SUMÁRIO

RESUMO GERAL .....	viii
ABSTRACT .....	ix
LISTA DE TABELAS .....	x
LISTA DE FIGURAS .....	xi
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	12
<b>2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	14
<b>3. CAPÍTULO I: ÁCIDOS FÚLVICOS E AMINOÁCIDOS LIVRES NA ABSORÇÃO DE PBZ EM MANGUEIRA ‘KEITT’</b> .....	16
<b>RESUMO</b> .....	16
<b>3.1. INTRODUÇÃO</b> .....	18
<b>3.2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	19
3.2.1. Localização e caracterização da área experimental .....	19
3.2.2. Índices pluviométricos e temperaturas .....	19
3.2.3. Disposição do pomar e manejo da cultura no campo .....	20
3.2.4. Características do solo .....	21
3.2.5. Delineamento experimental .....	21
3.2.6. Aplicação dos tratamentos em campo .....	22
3.2.7. Variáveis avaliadas .....	22
3.2.8. Análises estatísticas .....	25
<b>3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	25
<b>3.4. CONCLUSÃO</b> .....	36
<b>3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	37
<b>4. CAPÍTULO 2: ÁCIDOS FÚLVICOS E AMINOÁCIDOS LIVRES NA POTENCIALIZAÇÃO DO EFEITO DE PBZ NA MANGUEIRA ‘KEITT’</b> .....	41
<b>RESUMO</b> .....	41
<b>4.1. INTRODUÇÃO</b> .....	43
<b>4.2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	45
4.2.1. Localização e caracterização da área experimental .....	45
4.2.2. Índices pluviométricos e temperaturas .....	45
4.2.3. Características do solo .....	45
4.2.4. Disposição do pomar e manejo da cultura no campo .....	46

4.2.5.	Delineamento experimental .....	47
4.2.6.	Aplicação dos tratamentos em campo .....	47
4.2.7.	Variáveis avaliadas .....	47
4.2.8.	Análises estatísticas .....	50
<b>4.3.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>51</b>
<b>4.4.</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>61</b>
<b>4.5.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>61</b>
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>68</b>

## ÁCIDOS FÚLVICOS E AMINOÁCIDOS LIVRES NA POTENCIALIZAÇÃO DE ABSORÇÃO E EFEITO DE PACLOBUTRAZOL EM MANGUEIRA ‘KEITT’

### RESUMO GERAL

O Vale do São Francisco destaca-se na produção de manga pelo uso de paclobutrazol, fitorregulador de crescimento vegetal que juntamente com outras práticas de manejo, proporciona o florescimento mais uniforme e em qualquer época do ano. Todavia, a eficiência dele é muito instável, devido a pouca mobilidade da molécula no solo. Insumos de fontes orgânicas têm mostrados promissores na otimização de absorção de íons e moléculas, principalmente pelo efeito complexante. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a efetividade de ácidos fúlvicos e aminoácidos livres sobre a absorção e efeitos do paclobutrazol na mangueira cv. Keitt em região semiárida. O experimento foi conduzido em pomar comercial em Cabrobó-PE, entre novembro de 2017 e setembro de 2018. O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso com tratamentos distribuídos em faixa com e cinco repetições de quatro plantas cada. Os tratamentos foram; T1: PBZ + água (testemunha); T2: PBZ + ácidos fúlvicos; T3: PBZ + aminoácidos livres; T4: PBZ + ácidos fúlvicos + aminoácidos livres. O experimento foi realizado em duas condições distintas de solos. Foram avaliadas as seguintes variáveis: Resíduo de PBZ em raiz, folha e solo; comprimento e diâmetro de ramos; fotossíntese líquida; transpiração; concentração interna de CO<sub>2</sub>; condutância estomática; atividade da enzima catalase; aminoácidos livres; proteínas solúveis totais; giberelinas totais; carboidratos solúveis totais; florescimento; malformação floral e; produtividade. A aplicação de ácidos fúlvicos conjunta ao paclobutrazol aumenta a eficiência de absorção deste, conferindo maior eficiência das trocas gasosas e atividade de enzimas antioxidativas, inibindo a biossíntese de giberelina na maturação de ramos, mantendo os níveis de carboidratos, proteínas e aminoácidos, gerando uniformidade da floração e, conseqüentemente, proporcionando maior produtividade em mangueira cv. ‘Keitt’. Portanto, a aplicação de ácidos fúlvicos + paclobutrazol pode ser recomendado para manejo da cultura em condições semiáridas tropicais.

Palavras-chave: Indução floral, ácido giberélico, substâncias húmicas, *Mangifera indica* L.,

**FULVIC ACIDS AND FREE AMINO ACIDS IN THE POTENTIALIZATION OF  
ABSORPTION AND THE EFFECT OF PACLOBUTRAZOLE IN MANGO TREE  
'KEITT'**

**ABSTRACT**

The San Francisco Valley stands out in mango production by the use of paclobutrazol, a plant growth regulator that, together with other management practices, provides the most uniform flowering at any time of the year. However, its efficiency is very unstable because of the low mobility of the molecule in the soil. Organic material inputs have shown promising optimization of ion and molecule absorption, mainly due to the complexing effect. In this sense, the objective of this study was to evaluate the effectiveness of fulvic acids and free amino acids on the absorption and effects of paclobutrazol in mango tree cv. Keitt in semi-arid region. The experiment was conducted in a commercial orchard in Cabrobó-PE between November 2017 and September 2018. The experimental design was in randomized blocks with treatments distributed in strip with and five replicates of four plants each. The treatments were; T1: PBZ + water (control); T2: PBZ + fulvic acids; T3: PBZ + free amino acids; T4: PBZ + fulvic acids + free amino acids. The experiment was carried out in two different soil conditions. The following variables were evaluated: PBZ residue in root, leaf and soil; length and diameter of branches; liquid photosynthesis; perspiration; internal CO<sub>2</sub> concentration; stomatal conductance; activity of the catalase enzyme; free amino acids; total soluble proteins; total gibberellins; total soluble carbohydrates; flowering; floral malformation; productivity. The application of fulvic acids together with paclobutrazol increases its absorption efficiency, conferring greater gas exchange efficiency and antioxidative enzyme activity, inhibiting the biosynthesis of gibberellin in the maturation of branches, maintaining the levels of carbohydrates, proteins and amino acids, generating uniformity of the flowering and, consequently, providing higher productivity in mango tree cv. 'Keitt'. Therefore, the application of fulvic acids + paclobutrazol can be recommended for crop management under tropical semiarid conditions.

Keywords: Floral induction, gibberellic acid, humic substances, *Mangifera Indica* L.,

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 1

<b>Tabela 1.</b> Análises químicas e físicas dos solos cultivados com mangueira cv. Keitt antes da instalação dos experimentos.....	21
---	----

### Capítulo 2

<b>Tabela 1.</b> Análises químicas e físicas dos solos cultivados com mangueira cv. Keitt antes da instalação dos experimentos.....	46
---	----

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo 1

- Figura 1.** Temperaturas máxima, mínima e média do ar, umidade relativa do ar e precipitação registrados durante a condução do experimento.....20
- Figura 2.** Posicionamento do sistema de irrigação (A); coleta de raiz (B), último fluxo vegetativo amostrado (C) e coleta de solo (D).....23
- Figura 3.** Resíduo de PBZ nas raízes [solo 1 (A); solo 2 (B)] e no último fluxo vegetativo [solo 1 (C); solo 2 (D)] de mangueira cv. Keitt em função de ácidos fúlvicos e aminoácidos livres.....26
- Figura 4.** Estimativa de PBZ em todos os últimos fluxos vegetativos da parte aérea de mangueira cv. Keitt em função do uso de ácidos fúlvicos e aminoácido livres. Solo 1 (A); solo 2 (B).....28
- Figura 5.** Resíduo de PBZ no solo de mangueira cv. Keitt em função do uso de ácidos fúlvicos e aminoácido livres aos 272 dias após a aplicação do PBZ. Solo 1 (A); solo 2 (B).....29
- Figura 6.** Comprimento de ramos [solo 1 (A); solo 2 (B)]; diâmetro de ramos [solo 1 (C); solo 2 (D)] de mangueira cv. Keitt em função do uso de ácidos fúlvicos e aminoácido livres.....31
- Figura 7.** Atividade da enzima catalase de mangueira cv. Keitt em função do uso de ácidos fúlvicos e aminoácidos livres. Solo 1 (A); solo 2 (B).....32
- Figura 8.** Fotossíntese líquida [solo 1 (A); solo 2 (B)]; transpiração [solo 1 (C); solo 2 (D)]; concentração interna de CO<sub>2</sub> [solo 1 (E); solo 2 (F)]; condutância estomática [solo 1 (G); solo 2 (H)] de mangueira cv. Keitt em função do uso de ácidos fúlvicos e aminoácido livres.....34

### Capítulo 2

- Figura 1.** Temperaturas máxima, mínima e média do ar, umidade relativa do ar e precipitação registrados durante a condução do experimento.....45
- Figura 2:** Curva de calibração GA<sub>3</sub> obtido por CLAE-DAD.....48
- Figura 3:** Cromatograma do extrato de gemas florais de mangueira cv. 'Keitt' obtido por CLAE – DAD em 206 nm.....49
- Figura 4.** Aminoácidos livres [solo 1 (A); solo 2 (B)], proteínas solúveis totais [solo 1 (C); solo 2 (D)], carboidratos solúveis totais [solo 1 (A); solo 2 (B)] de mangueira cv. Keitt em função do uso de ácidos fúlvicos e aminoácido livres.....51
- Figura 5.** Percentual de giberelina de mangueira cv. Keitt em função do uso de ácidos fúlvicos e aminoácido livres. Solo 1 (A); solo 2 (B).....54

<b>Figura 6.</b> Florescimento [solo 1 (A) e solo 2 (B)], malformação floral [solo 1 (C) e solo 2 (D)] de mangueira cv. Keitt em função do uso de ácidos fúlvicos e aminoácido livres. .....	57
<b>Figura 7.</b> Produtividade de mangueira cv. Keitt em função do uso de ácidos fúlvicos e aminoácido livres. Solo 1 (A); solo 2 (B).....	60

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A fruticultura destaca-se no agronegócio brasileiro devido à grande variedade de culturas adaptadas as diversas condições climáticas, gerando emprego e renda. Uma das principais frutíferas para a economia brasileira é a mangueira (*Mangifera indica* L.), devido seu alto rendimento e ser aceita por diversos mercados, contribuindo para o Brasil ser o maior produtor da América do Sul e sétimo no ranque mundial (FAOSTAT, 2017).

Em 2017 o Brasil exportou 179.601,17 toneladas para países de todos os continentes, tais como; China, Gana, Austrália, Estados Unidos e Holanda, perfazendo um total de 205.111.206 US\$ (AGROSTAT, 2018). Grande parte da produção brasileira é cultivada no Vale do Rio São Francisco, que é responsável por 85% das exportações brasileiras da manga *in natura* (CARVALHO et al., 2017).

O Vale do Rio São Francisco tem grande notoriedade em âmbito nacional por ser o maior produtor de frutíferas em perímetro irrigado, e sobretudo, pelo uso de tecnologias para fornecer frutos de qualidade suficiente para serem aceitos nos mercados mais exigentes do mundo, possibilitando a comercialização nas mais variadas janelas de mercado (BRANCO; LIMA, 2016).

Especificamente a alta produção de mangueiras no Vale do Rio São Francisco ocorre graças as condições edafoclimáticas, boas práticas de manejo para fertilidade do solo e tecnologias de indução floral com uso de irrigação, podas e fitorreguladores nos seus pomares comerciais (MOUCO, 2008), pois para haver floração da mangueira são necessárias alterações no balanço hormonal e transportes de carboidratos para os brotos, e isso depende da idade, volume da copa, caráter genéticos e condições climáticas (PRASAD, et al., 2014), o que restringe a produção em condições naturais para apenas uma época do ano, variando entre as cultivares, porém o uso de fitohormônios exclui essas restrições.

De los Santos-Villalobos et al. (2013) relataram que fitohormônios (auxinas, citocininas e giberelinas) determinam o desenvolvimento das gemas como vegetativa ou floral, e ainda regulam a sua sincronização, sendo que na mangueira as giberelinas parecem ser os mais ativos. O crescimento vegetativo ocorre quando a altos níveis de giberelina nas gemas, enquanto a floração é promovida com seu decréscimo (DAVENPORT, 2007).

Com isto, usa-se um fitorregulador hormonal para induzir a floração em condições tropicais, denominado de paclobutrazol (PBZ), fórmula molecular  $C_{15}H_{20}ClN_3O$ , massa de 293,8 g/mol, ponto de fusão 165-166 °C, densidade de 1,22 g mL<sup>-1</sup> e solubilidade em água de 35 mg L<sup>-1</sup>.

O PBZ age na biossíntese de giberelina, inibindo a oxidação do *ent*-caureno para ácido *ent*-caurenoico, mediante a inativação da oxigenase dependente do citocromo P450, reduzindo o nível de divisão e alongamento celular (SRIVASTAV et al., 2010), que permite programar a colheita para qualquer época do ano, viabilizando a comercialização no momento mais atrativo ao produtor.

Todavia é comum ocorrer baixa absorção do PBZ pelas plantas, por isso os produtores aplicam doses mais altas para garantir seu efeito, mas se houver excesso de absorção pode acabar retardando o crescimento vegetativo e floração por um período maior que o desejável, tornando necessária mais aplicações de nitrato para ruptura de gema, o que aumenta o custo da produção, bem como o acúmulo de resíduos no solo sem que haja conhecimento das consequências ao longo prazo no sistema produtivo e no meio ambiente (VAZ et al., 2015).

Uma das principais dificuldades do uso eficiente do PBZ no sistema produtivo da mangueira decorre da baixa mobilidade dessa molécula, todavia, o movimento do PBZ no perfil do solo é proporcional ao conteúdo de matéria orgânica (MO), pois há interação preponderante entre o PBZ e a MO devido às características químicas da molécula, anfifílica, por ter caráter hidrofílico (grupos polares, OH e triazol) e hidrofóbico (grupos orgânicos apolares), assim o PBZ é capaz de fazer ligações de ambas as formas, principalmente com as substâncias húmicas (ácidos húmicos e fúlvicos) que apresentam altas densidades de cargas (grupos ionizados, como ácidos carboxílicos) e grupos polares (hidrofóbicos) relacionados às longas cadeias de carbono nas suas frações (MILFONT et al. 2008).

Dentre as frações das SH, os AF têm uma ação mais ativa na hidrólise e transporte de íons devido ao menor peso molecular, cadeias alifáticas, maior mobilidade no solo, maior área superficial específica, maior densidade de cargas e alta capacidade de troca catiônica (CTC) em comparação às demais frações das SH (CANELLAS et al., 2005).

Outra substância orgânica que pode vir a ser eficaz para dar maior mobilidade ao PBZ seria os aminoácidos livres, que também são capazes de formar complexos com nutrientes resultando em maior e mais rápida absorção (CASTRO; CARVALHO, 2014),

Vale ressaltar que produtores da região tem utilizado fontes de ambas substâncias orgânicas supracitadas de forma conjunta, porém sem estudos científicos que comprovem sua eficácia, sendo que, pelas características das substâncias, pode haver interação entre as próprias substâncias, o que, em tese, pode reduzir o potencial de complexação com o PBZ.

Com o exposto, faz-se necessários estudos para desenvolver técnicas que potencializem a eficiência de absorção e efeito de paclobutrazol sobre mangueiras em regiões semiáridas, principalmente com substâncias orgânicas que possam aumentar o transporte do PBZ até o sistema radicular das plantas e com isto melhorar a eficiência de uso, como o uso de ácidos fúlvicos e aminoácidos livre.

## 2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROSTAT. **Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro** Disponível em: <<http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>>. Acesso: 16 de nov. 2018.

CARVALHO, C. de et al. **Anuário brasileiro da fruticultura 2017**. Editora Gazeta Santa Cruz: Santa Cruz do Sul, p. 88, 2017.

BRANCO, D. K. S.; LIMA, J. E. Comportamento das exportações de manga do Vale Submédio São Francisco: uma abordagem a partir de vetores autorregressivos. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 47, n. 4, p. 29-37, 2016.

CANELLAS, L. P. et al. Bioatividade de substâncias húmicas: ação sobre desenvolvimento e metabolismo das plantas. In: CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. (Ed.). **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Campos dos Goytacazes: CCTA, UENF, p. 224-243, 2005.

CASTRO, P. R. de C. E; CARVALHO, M. E. A. **Aminoácidos e suas aplicações na agricultura**. Piracicaba: ESALQ/USP, Divisão de Biblioteca, p. 58, 2014.

DAVENPORT, T. L. Reproductive physiology of mango. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 19, n. 4, p. 363-376, 2007.

DE LOS SANTOS-VILLALOBOS, S. et al. Growth promotion and flowering induction in mango (*Mangifera indica* L. cv “Ataulfo”) trees by Burkholderia and Rhizobium Inoculation: morphometric, biochemical, and molecular events. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 32, n. 3, p. 615-627, 2013.

FAOSTAT. Food. Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <[http://www.fao.org/faostat/en/#data /Q/QC/E](http://www.fao.org/faostat/en/#data/Q/QC/E)> Acesso em: 08 de jun. 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola, 2017. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613#resultado/>>. Acesso em: 03 de dez. 2018.

MILFONT, M. L. et al. Transporte do paclobutrazol em colunas de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 2165-2175, 2008.

MOUCO, M. A. do C. **Manejo da floração de mangueiras no semi-árido do nordeste brasileiro com inibidores da síntese de giberelinas**. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, p. 107, 2008. (Tese de Doutorado).

PRASAD, S. S. et al. Studies on changes in carbohydrate metabolism in regular bearing and “Off” season bearing cultivars of mango (*Mangifera indica* L.) during flowering. **International Journal of Fruit Science**, Philadelphia, v. 14, n. 4, p. 437-459, 2014.

SRIVASTAV, M. et al. Effect of paclobutrazol and salinity on ion leakage, proline content and activities of antioxidant enzymes in mango (*Mangifera indica* L.). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 125, n. 4, p. 785-788, 2010.

VAZ, F. et al. Biodegradation of paclobutrazol - a plant growth regulator used in irrigated mango orchard soil. In: CHAMY, R.; ROSENKRANZ, F.; SOLER, L. (Ed.). **Biodegradation and Bioremediation of Polluted Systems-New Advances and Technologies**. IntechOpen: London, p. 85-107, 2015.

### 3. CAPÍTULO I: ÁCIDOS FÚLVICOS E AMINOÁCIDOS LIVRES NA ABSORÇÃO DE PBZ EM MANGUEIRA ‘KEITT’

#### RESUMO

A mangueira tem grande importância socioeconômica no Vale do Ri São Francisco, porém mesmo que ela seja uma planta com alta produtividade, existem alguns fatores limitantes, ocasionando a alternância de produção. Com isto, surge a necessidade de novas tecnologias e serviços especializados que evitem tais limitações. Entre essas tecnologias destaca-se o uso de fitorreguladores do crescimento vegetal, como o paclobutrazol (PBZ), que inibe a biossíntese de giberelina, reduzindo o crescimento vegetativo e favorecendo a floração da mangueira. Entretanto, é comum ocorrer perdas na aplicação do PBZ, podendo gerar impactos negativos ao meio ambiente, e doses excessivas pode causar um efeito contrário ao esperado. Para sanar tal problemática tem sido adotado o uso substâncias orgânicas, pois há indícios na literatura que aminoácidos e ácidos fulvicos apresentam efeitos na absorção de íons, podendo contribuir para absorção do PBZ pelo sistema radicular. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a efetividade de ácido fúlvico e aminoácidos livres sobre a absorção do paclobutrazol e efeitos sobre mangueira cv. Keitt. O experimento foi conduzido em pomar de mangueira cv. Keitt, em Cabrobó-PE, entre novembro de 2017 e setembro de 2018. O clima do local é classificado como BswH (Köppen), uma região semiárida. O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso com tratamentos distribuídos em faixa com e cinco repetições de quatro plantas cada. Os tratamentos foram: T1: PBZ + água (testemunha); T2: PBZ + ácidos fúlvicos; T3: PBZ + aminoácidos livres; T4: PBZ + ácidos fúlvicos + aminoácidos livres. Foram avaliadas as seguintes variáveis: Resíduo de PBZ em raiz, folha e solo; comprimento e diâmetro de ramos; atividade da enzima catalase; fotossíntese líquida; transpiração; concentração interna de CO<sub>2</sub> e; condutância estomática. A aplicação de ácidos fúlvicos conjunta ao paclobutrazol aumentou a eficiência de absorção deste, conferindo maior eficiência das trocas gasosas e atividade de enzima antioxidativa de mangueira cv. Keitt. Todavia o uso de aminoácido isolado ou junto com os ácidos fúlvicos diminui a eficiência na planta, comparado ao uso isolado de paclobutrazol.

Palavras-chave: *Mangifera indica* L., paclobutrazol, indução floral, substâncias húmicas

## CHAPTER I: FULVIC ACIDS AND FREE AMINO ACIDS IN THE ABSORPTION OF PBZ IN MANGO TREE 'KEITT'

### ABSTRACT

The mango tree has great socioeconomic importance in the São Francisco River Valley, but even though it is a plant with high productivity, there are some limiting factors, causing the production alternation. With this, the need arises for new technologies and specialized services that avoid such limitations. These technologies include the use of plant growth regulators such as paclobutrazol (PBZ), which inhibits biosynthesis of gibberellin, reducing vegetative growth and favoring flowering of the mango tree. However, it is common to experience losses in the application of PBZ, which can generate negative impacts on the environment, and excessive doses may cause an opposite effect. The use of organic substances has been adopted to remedy this problem, since there are indications in the literature that amino acids and fulvic acids have effects on ion absorption, and may contribute to the absorption of PBZ by the root system. In this sense, the objective of this study was to evaluate the effectiveness of fulvic acid and free amino acids on the absorption of paclobutrazol and effects on mango tree cv. Keitt. The experiment was conducted in mango tree orchard cv. Keitt in Cabrobó-PE between November 2017 and September 2018. The climate of the place is classified as BswH (Köppen), a semi-arid region. The experimental design was in randomized blocks with treatments distributed in strip with and five replicates of four plants each. The treatments were: T1: PBZ + water (control); T2: PBZ + fulvic acids; T3: PBZ + free amino acids; T4: PBZ + fulvic acids + free amino acids. The following variables were evaluated: PBZ residue in root, leaf and soil; length and diameter of branches; activity of the catalase enzyme; liquid photosynthesis; perspiration; internal CO<sub>2</sub> concentration and; stomatal conductance. The application of fulvic acids to paclobutrazol increased its absorption efficiency, conferring greater gas exchange efficiency and antioxidative activity of mango tree cv. Keitt. However the use of amino acid alone or together with fulvic acids decreases plant efficiency, compared to the use of paclobutrazol alone.

Key words: *Mangifera indica* L., paclobutrazol, floral induction, humic substances

### 3.1. INTRODUÇÃO

O Vale do São Francisco apresenta condições climáticas ideais para o cultivo de mangueira, quando associado a boas práticas de manejo para fertilidade do solo, irrigação, podas e fitorreguladores (MOUCO, 2008). O paclobutrazol (PBZ) é um fitorregulador comumente usado no sistema produtivo da mangueira em condições semiáridas (CARNEIRO et al., 2017; OLDONI et al., 2018; CAVALCANTE et al., 2018), sendo responsável por reduzir giberelina e promover o florescimento (SRIVASTAV et al., 2010).

Entretanto, o mecanismo para absorção do PBZ apresenta dificuldades devido sua baixa solubilidade em água, pouca mobilidade no solo e por se ligar reversivelmente ao sistema vascular da planta e ao solo (LEVER, 1986). Contudo, o PBZ pode interagir com a matéria orgânica do solo, graças à presença de grupos ionizados (hidrofílicos) que possuem altas densidades de cargas (grupos OH e triazol), e grupos apolares (hidrofóbicos) relacionados às longas cadeias de carbono em suas frações (MILFONT, 2006).

No cultivo da mangueira o PBZ é aplicado via solo diluído em água e diretamente aplicado na projeção da copa ou via sistema de fertirrigação, o que se justifica pela maior eficiência da molécula no movimento acrópeto (da base para o ápice da planta) (RADEMACHER et al., 2006). Entretanto, o uso contínuo do PBZ pode causar contaminação do solo e das fontes hídricas superficiais ou subterrâneas (SILVA et al., 2017), além de interferir negativamente no crescimento e desenvolvimento da cultura com o passar dos ciclos produtivos, reduzindo a capacidade produtiva da mangueira (KISHORE et al., 2015).

Assim, a busca por moléculas orgânicas que possam incrementar a absorção do PBZ e reduzir o resíduo que permanece no solo com o uso contínuo, pode exercer uma função que agregue a eficiência de uso do PBZ, reduzir a dose e causar menos riscos ao meio ambiente.

Entre essas fontes orgânicas destacam-se os aminoácidos e seus análogos, pois eles têm aplicações na agricultura como substâncias complexantes que auxiliam na maior eficiência da absorção de íons e moléculas, por causa do aumento de permeabilidade das membranas resultando em menor resistência à penetração (CASTRO et al., 2014). Aminoácidos possuem a vantagem de apresentarem afinidade natural com

as plantas, possibilitando um transporte através da membrana sem gasto de energia, já que estes são reconhecidos como N-orgânico (ASHMEAD, 1986).

Outra fonte orgânica com uso potencial são as substâncias húmicas (SHs) que induzem a atividade da  $H^+ -ATPase$  que fornece energia aos transportadores de íons secundários e promovem a absorção de nutrientes (TANG et al., 2014; CANELLAS et al., 2015), ativam o transporte na planta e metabolismo iônico (JANNIN et al., 2012), como síntese de proteínas, fotossíntese, atividade enzimática, solubilização de macro e micronutrientes, atividade microbiana e efeitos semelhante a hormônios (SEYEDBAGHERI, 2010). Principalmente os ácidos fúlvicos (AF) atribuído com a fração mais bioativas das SH por terem menor massa molecular conferida pelo seu maior conteúdo de componentes hidrofílicos (NARDI et al., 2007).

Neste sentido, o presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a efetividade de ácido fúlvico e aminoácidos livres na absorção do paclobutrazol e seus efeitos na mangueira cv. Keitt cultivada no semiárido tropical.

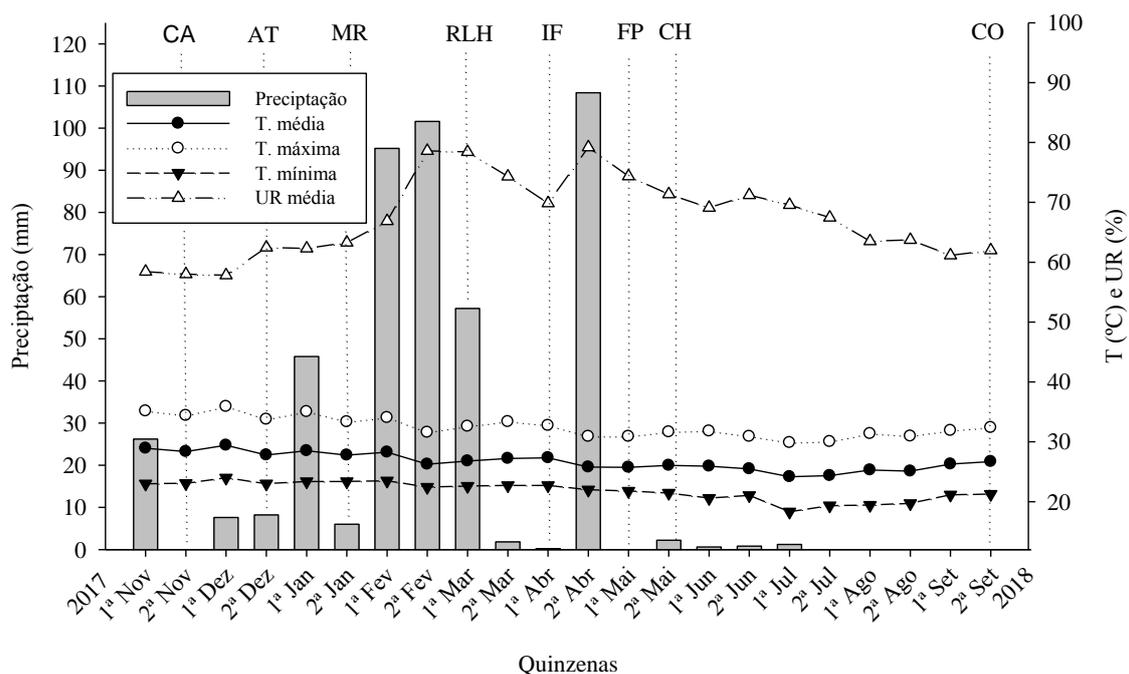
## **3.2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.2.1. Localização e caracterização da área experimental**

O experimento foi conduzido em pomar comercial de mangueira cv. Keitt enxertada sobre o porta-enxerto de mangueira cv. Espada, na fazenda Clorofila Agropecuária, em Cabrobó-PE, latitude  $08^{\circ} 31' S$  e longitude  $39^{\circ} 26' O$ , entre novembro de 2017 e setembro de 2018.

### **3.2.2. Índices pluviométricos e temperaturas**

O clima do local é classificado como Bswh (Köppen), que pertence a uma região semiárida. Durante a execução do experimento, os dados climáticos referentes à precipitação pluviométrica, temperatura e umidade relativa do ar foram registrados em estação meteorológica automática instalada na fazenda e constam na Figura 1.



**Figura 1.** Temperaturas máxima, mínima e média do ar, umidade relativa do ar e precipitação registrados durante a condução do experimento. CA: Caracterização da área; AT: Aplicação dos tratamentos; MR: Maturação de ramos; RLH: Redução de lamina hídrica; IF: Indução floral; FP: Florada plena; CH: fruto tamanho ‘chumbinho’; CO: Colheita.

### 3.2.3. Disposição do pomar e manejo da cultura no campo

As plantas estudadas foram dispostas num espaçamento 4x2 m, resultando numa densidade de 1250 plantas ha<sup>-1</sup>, em primeiro ciclo produtivo (data de transplantio: 20 de junho de 2015), com tamanho e vigor uniformes. O pomar foi irrigado pelo sistema localizado de gotejamento, com duas linhas de tubos gotejadores por linha de planta (uma em cada lado da planta), com um emissor a cada 0,5 m proporcionando vazão individual de 2L h<sup>-1</sup>.

As práticas culturais referentes à poda, controle de plantas invasoras, pragas, doenças e colheita foram realizadas tendo como referência as normas técnicas da Produção Integrada de Manga definidas por Lopes et al. (2003), bem como manejo do florescimento incluiu poda de produção, paclobutrazol, maturação de ramos, desponte e a ruptura de gemas, seguindo as recomendações de Albuquerque et al. (2002). O manejo nutricional foi realizado através de sistema de fertirrigação, de acordo com a análise do solo e demanda da cultura (SILVA et al., 2002). Foi realizado ainda um raleio de ramos produtivos aos 27 dias após aplicação do PBZ mantendo-se aproximadamente 100 ramos por planta.

### 3.2.4. Características do solo

O experimento foi conduzido concomitantemente em duas áreas distintas, caracterizadas a partir da coleta de solo antes da instalação dos experimentos, no dia 20 de novembro de 2017. As análises químicas do solo foram realizadas no Laboratório de Química do Solo da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), *Campus Ciências Agrárias*, e os resultados encontram-se na Tabela 1.

**Tabela 1.** Análises química e física dos solos cultivados com mangueira cv. Keitt antes da instalação dos experimentos.

Solo	Camada	pH (H <sub>2</sub> O)	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	SB	V
	m		mg dm <sup>-3</sup>	_____			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	_____			%
1	0,0 a 0,2	4,94	66,62	0,41	1,22	2,52	1,43	0,35	4,29	5,58	56,55
	0,2 a 0,4	5,33	31,22	0,31	1,13	2,91	1,91	0,25	3,05	6,26	67,21
2	0,0 a 0,2	5,37	70,62	0,36	0,78	3,20	1,65	0,08	3,05	5,99	66,25
	0,2 a 0,4	6,22	44,28	0,64	1,70	3,06	1,92	0,08	1,98	7,31	78,70

Solo	Camada	CTC (pH7)	MO	AF	AH	HU	CE	Areia	Argila	Silte	Textura
	m	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	_____ g kg <sup>-1</sup> _____			dS m <sup>-1</sup>	_____ dag kg <sup>-1</sup> _____				
1	0,0 a 0,2	9,87	11,13	0,03	1,44	4,45	0,06	51,13	15,90	32,97	Franca
	0,2 a 0,4	9,31	10,68	1,01	1,30	4,02	0,07	48,32	18,10	33,58	Franca
2	0,0 a 0,2	9,04	13,13	0,07	1,61	4,95	0,15	48,94	14,10	36,96	Franca
	0,2 a 0,4	9,29	9,68	0,84	1,62	5,53	0,17	54,81	16,40	28,79	Franca arenosa

CTC: Capacidade de troca catiônica; SB: Soma de bases; V: Saturação por bases; MO: Matéria orgânica; AF: Ácido fúlvico; AH: Ácido húmicos; HU: Humina; CE: Condutividade elétrica.

### 3.2.5. Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso com tratamentos distribuídos em faixa com e cinco repetições de quatro plantas cada. Os tratamentos avaliados foram: T1: PBZ + água (testemunha); T2: PBZ + ácidos fúlvicos; T3: PBZ + aminoácidos livres; T4: PBZ + ácidos fúlvicos + aminoácidos livres. A fonte de PBZ utilizado foi o Cultar 250<sup>®</sup>, com 25% de ingrediente ativo (i.a). A dosagem de PBZ foi igual para todos os tratamentos; 1g i.a. por m<sup>-1</sup> de copa.

### 3.2.6. Aplicação dos tratamentos em campo

As fontes de ácidos fúlvicos e de aminoácidos livres utilizadas foram, respectivamente: 16 ml planta<sup>-1</sup> de Aminoagro Mol<sup>®</sup> (10% de N, 1% de K<sub>2</sub>O e 8% de COT) e 16 ml planta<sup>-1</sup> de Aminoplus<sup>®</sup> (11% de N, 1% de K<sub>2</sub>O, 6% de COT e glutamato). As respectivas fontes foram aplicadas no dia 23 de dezembro de 2017, pelo sistema de fertirrigação, com aplicação dos produtos diretamente na linha de irrigação para cada tratamento.

### 3.2.7. Variáveis avaliadas

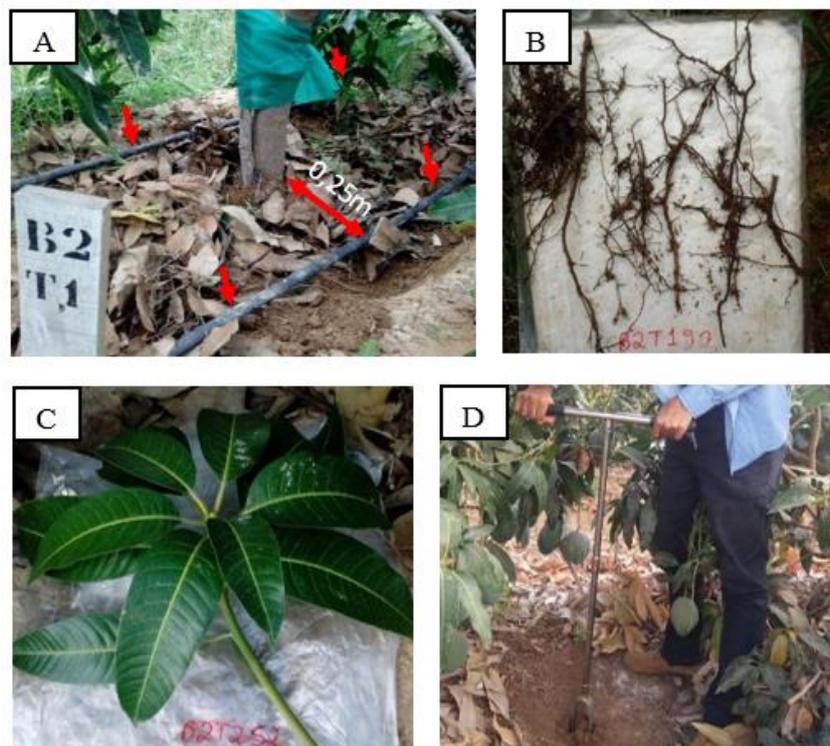
Para determinar os efeitos dos tratamentos realizaram-se mensurações do resíduo de PBZ em material vegetal e no solo, crescimento vegetativo e trocas gasosas da planta.

#### *Resíduo de Paclobutrazol*

Foram feitas análises de PBZ em raiz e no último fluxo vegetativo. Antes da aplicação do PBZ + ácidos orgânicos (20 de dezembro de 2017) realizou-se uma caracterização das áreas, e posteriormente, mantiveram-se as coletas aos 10, 20, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após aplicação dos tratamentos, entre 10:00 e 11:00 horas da manhã.

As raízes de até 4 milímetros de diâmetro, foram coletadas até 0,3 m de profundidade e 0,25 de distância do tronco da mangueira, na projeção do sistema de irrigação, que consistia em duas linhas de gotejamento (uma em cada lado da planta) paralelas as fileiras das plantas, com 0,5 m de espaçamento entre os gotejadores, totalizando quatro plantas. O último fluxo vegetativo totalmente expandido, foi coletado do terço médio dos quatro quadrantes da copa.

O resíduo de PBZ no solo foi feito 272 dias após a aplicação do PBZ, no dia da colheita. Foi coletado uma amostra de solo para cada repetição dos tratamentos, de 0 a 0,4 m de profundidade (Figura 2).



**Figura 2.** Posicionamento do sistema de irrigação (A); coleta de raiz (B), último fluxo vegetativo amostrado (C) e coleta de solo (D). Setas unidirecional apontam a localização dos furos de gotejamento.

As análises residuais de PBZ foram realizadas no Instituto de Pesquisa em Substâncias Bioativas (IPESB), seguindo a metodologia de extração de QuEChERS, e determinação por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), proposta por Anastassiades et al. (2003). Pesou-se 10g das amostras em um tubo falcon de 50mL e adicionou-se 10, 20 e 25mL de acetonitrila grau HPLC nas amostras de solo, último fluxo vegetativo e raiz, respectivamente. A mistura foi submetida à vigorosa agitação no vortex por 1 minuto e em seguida, foi adicionado os sais de QuEChERS (1g de cloreto de sódio, 4g de sulfato de magnésio, 1g de citrato trissódico di-hidratado e 0,5g de hidrogeno citrato de dissódio sesqui-hidratado). Foi realizada nova agitação por 3 min, seguida de centrifugação a 3500 rpm durante 5 min. Para o clean up, 1,5 mL desse extrato foi transferido para outro tubo, que continha 0,15g de sulfato de magnésio, 0,025g amina primária e secundária (PSA) e 0,050g de carbono grafitizado (GCB) (GCB não foi utilizado nas amostras de solo). Essa mistura foi novamente agitada por 30 segundos e centrifugada a 3500 rpm por 5 minutos. O sobrenadante retirado foi filtrado (Syringe Filters Nylon 0,22 $\mu$ m) e injetado no Cromatógrafo (Acquity UPLC I-Class plus). As leituras foram realizadas por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE).

Foi realizado uma estimativa de paclobutrazol na parte aérea das plantas através da concentração encontrada por CLAE no último fluxo vegetativo de cada tratamento e em cada data de avaliação, multiplicando-se pelo número total de ramos por planta.

#### *Comprimento e diâmetro de ramos*

Para as análises de crescimento vegetativo, inicialmente foram realizadas caracterizações das áreas (CA) no dia 08 de dezembro de 2017. E após a aplicação dos tratamentos, quando as plantas estavam em seu segundo fluxo vegetativo. Continuaram sendo realizadas mensurações do comprimento e diâmetro de ramos, quizenalmente, até a indução floral, com régua milimetrada e paquímetro digital, respectivamente. Foram marcados 10 ramos por plantas, distribuídos pelos quatros quadrantes na porção mediana da copa.

#### *Trocas gasosas de plantas*

Para a avaliação das trocas gasosas foi utilizado o medidor portátil de trocas gasosas a infravermelho (IRGA, Li-cor) modelo 6400 xT. Uma caracterização inicial foi feita antes da aplicação dos tratamentos, e continuaram as avaliações aos 90, 120 e 150 dias após aplicação dos tratamentos, entre 10 e 12 horas da manhã. Avaliaram-se as taxas de fotossíntese líquida, transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO<sub>2</sub>, em folhas maduras e completamente expandidas, localizadas no terço médio da copa.

#### *Atividade da enzima catalase*

As coletas de material vegetal para a análise da atividade da enzima catalase foi realizada seguindo os critérios de Malavolta et al. (1997) para análise nutricional. Inicialmente, no dia 20 de novembro de 2017, foi feita uma caracterização das áreas e posteriormente aos 10, 20, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após aplicação dos tratamentos, entre 10h00 e 11h00. O limbo foliar foi embalado em papel alumínio, identificados e imediatamente depositados em nitrogênio líquido, transportado ao laboratório e conservados em freezer até o preparo do extrato bruto.

A análise da catalase foi realizada no Laboratório de Fisiologia Vegetal da Universidade Federal do Vale do São Francisco, determinada pelo método de Beers e Sizer (1952). A marcha analítica procedeu-se da seguinte forma: o tampão fosfato de potássio 0,1 M, pH 7,0 contendo EDTA a 0,0001 M, foi colocado em um béquer de 250 mL em banho-maria a 30°C durante toda a análise, com o espectrofotômetro ajustado na faixa de 240 nm foi colocado na cubeta 1390 µL de tampão + 50 µL de extrato bruto + 60 µL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

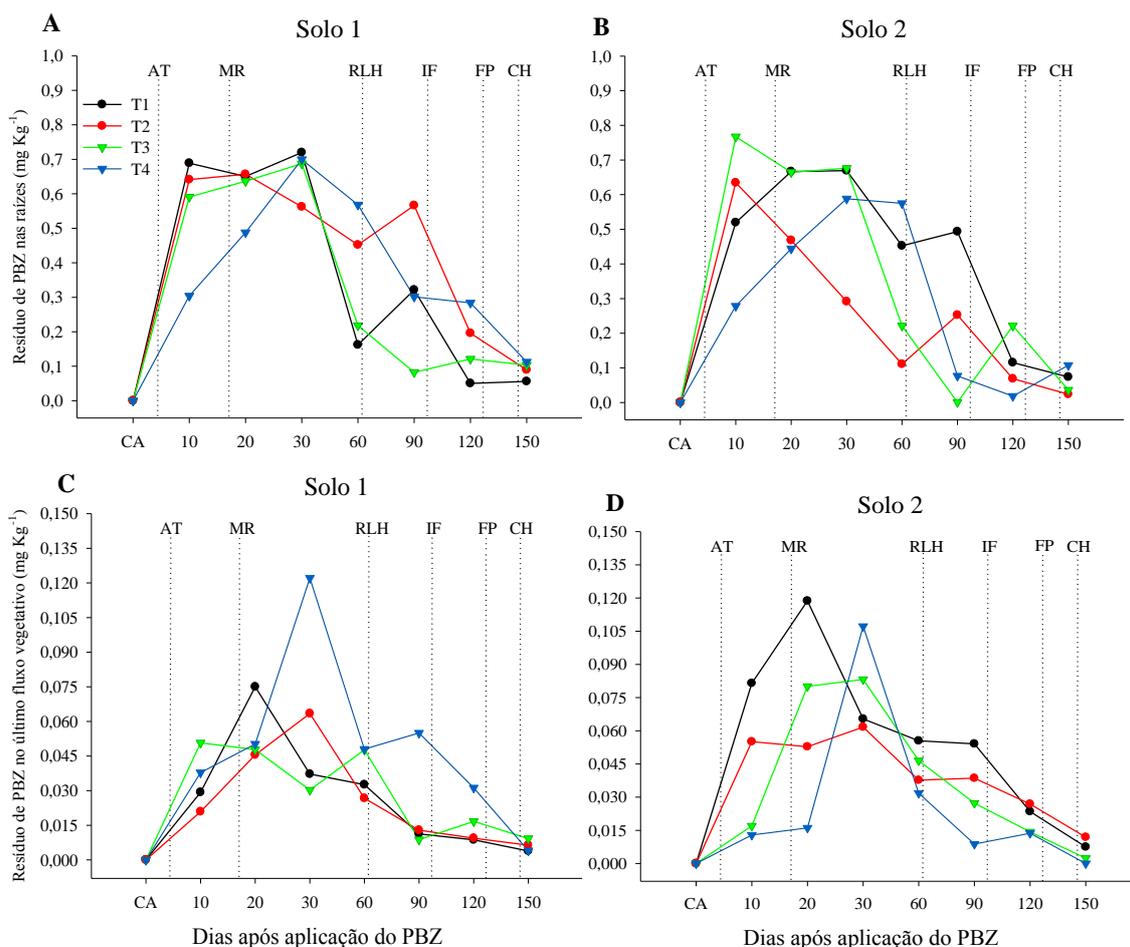
### 3.2.8. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância para avaliação dos efeitos significativos pelo teste “F”, e os tratamentos foram comparados entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade usando os softwares SISVAR e SIGMAPLOT. Exceto as análises residuais de PBZ no último fluxo vegetativo e na raiz que foram discriminadas apenas as médias das amostras por tratamento.

## 3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 encontram-se os resultados médios do resíduo de PBZ em raízes e no último fluxo vegetativo de mangueira cv. Keitt em diferentes fases fenológicas em duas condições de solos (Solo 1 e Solo 2).

A absorção radicular de PBZ foi bastante rápida para os tratamentos T1, T2 e T3, pois aos 10 dias após a aplicação do PBZ (DAP) todos se situavam acima de 0,50 mg kg<sup>-1</sup>, enquanto que o T4 continha menos de 0,31 mg kg<sup>-1</sup> no solo 1 e 2, respectivamente Figura 3 A-B). Aos 30 DAP os níveis de PBZ do T1, T3 e T4 permaneceram altos e o T2 decresceu.



**Figura 3.** Resíduo de PBZ nas raízes [solo 1 (A); solo 2 (B)] e no último fluxo vegetativo [solo 1 (C); solo 2 (D)] de mangueira cv. Keitt em função de ácidos fúlvicos e aminoácidos livres. T1: PBZ + água (testemunha); T2: PBZ + ácidos fúlvicos; T3: PBZ + aminoácidos livres; e T4: PBZ + ácidos fúlvicos + aminoácidos livres. CA: caracterização da área (09/12/2017); AT: aplicação dos tratamentos; MR: maturação de ramos; RLH: redução de lamina hídrica; IF: indução floral; FP: florada plena; CH: fruto tamanho ‘chumbinho’.

Os resultados mostram que o PBZ no T2 foi mais rapidamente translocado para a parte aérea das plantas, enquanto que os outros tratamentos (T1 e T3) continuaram praticamente com a mesma quantidade de PBZ acumulado nas raízes, e o T4 continuou sendo absorvido lentamente, isso ocorreu porque os ácidos fúlvicos (AF) deram maior mobilidade as moléculas do PBZ no solo, principalmente por apresentar grande área superficial específica, alta densidade de cargas e menor tamanho (CANELLAS et al., 2005).

As cargas negativas das substâncias húmicas reagem com os compostos orgânicos que contém N, neste caso com o triazol (PBZ), formando um complexo

(SPOSITO, 2008), resultando em menos resistência de cargas, do que a da molécula de não complexada enfrentaria para sua mobilidade no solo.

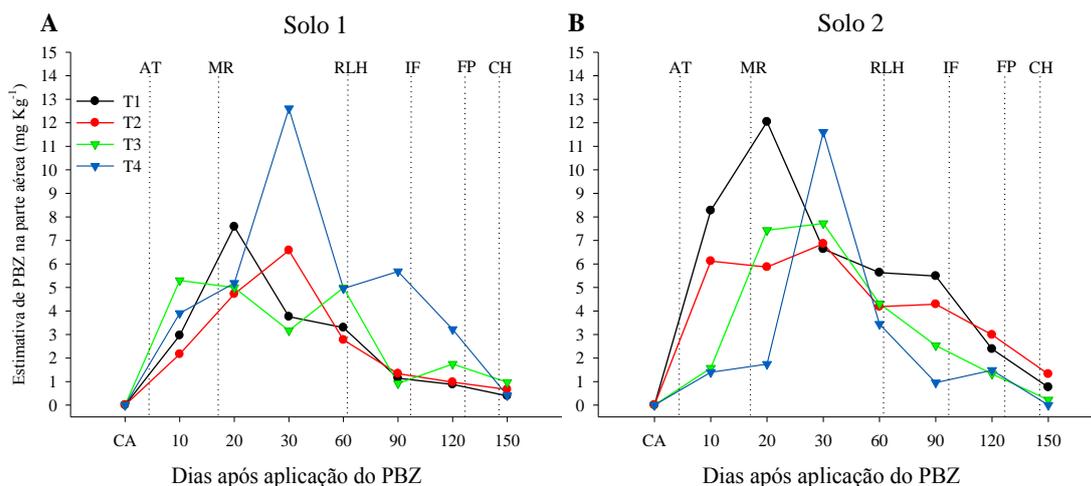
Também é preciso frisar que a quantidade de resíduo de PBZ presente na raiz é muito maior que as concentrações no último fluxo vegetativo, mesmo com o passar do tempo essa diferença persiste.

Apesar da baixa mobilidade desta molécula o maior nível de absorção ocorreu logo após a sua aplicação, pois o PBZ foi direcionado para as zonas radiculares mais ativas através da fertirrigação. Entretanto entre a RLH e a IF, houve acréscimo de PBZ na raiz para o T1 e T2 em ambos os solos (Figura 3 A-B). O acréscimo relatado pode ter ocorrido pela redução do potencial hídrico, em vista do menor conteúdo de água e acúmulo de solutos próximo as zonas radiculares (TAIZ et al., 2017), todavia, T3 e T4, ambos com presença de aminoácidos, mostram que não mantiveram PBZ disponíveis para a planta, 90 DAP, mostrando-se menos eficazes ao longo prazo.

O PBZ recebe o oxigênio do citocromo P450 evitando a oxigenasse do *ent*-caureno (SRIVASTAV et al., 2010). Deve existir uma proporção entre a quantidade de ácido *ent*-caurenoico que não se forma e o número de moléculas de PBZ que são usadas efetivamente na inibição de formação das giberelinas.

Desde a redução de lamina hídrica (RLH) os níveis de PBZ no último fluxo vegetativo começam a decair para todos os tratamentos até a fase de ‘chumbinho’ (CH), ficando com valores abaixo de  $0,02 \text{ mg kg}^{-1}$ . Valores superiores foram encontrados por Bhattacharjee e Singh (2015) em folhas de mangueira cv. Dashehari, onde  $0,8$  e  $1,6 \text{ g i.a. planta}^{-1}$  resultaram em  $0,32$  e  $0,56 \text{ mg kg}^{-1}$  aos 120 DAP. Esses autores realizaram quatorze leituras de 0 a 360 DAP e em sete datas de leitura (quase que totalmente intercaladas), não foi detectado PBZ em folhas, os autores atribuíram isto a biodegradação da molécula em folhas ou diminuição da condutividade hidráulica do PBZ pelas folhas.

A Figura 4 contém a estimativa de PBZ na parte aérea das plantas. Pode-se observar que o gráfico ficou muito semelhante ao do último fluxo vegetativo (Figura 3 C-D), isto porque as plantas estavam bastante uniformes, possuindo aproximadamente 100 ramos produtivos por planta.



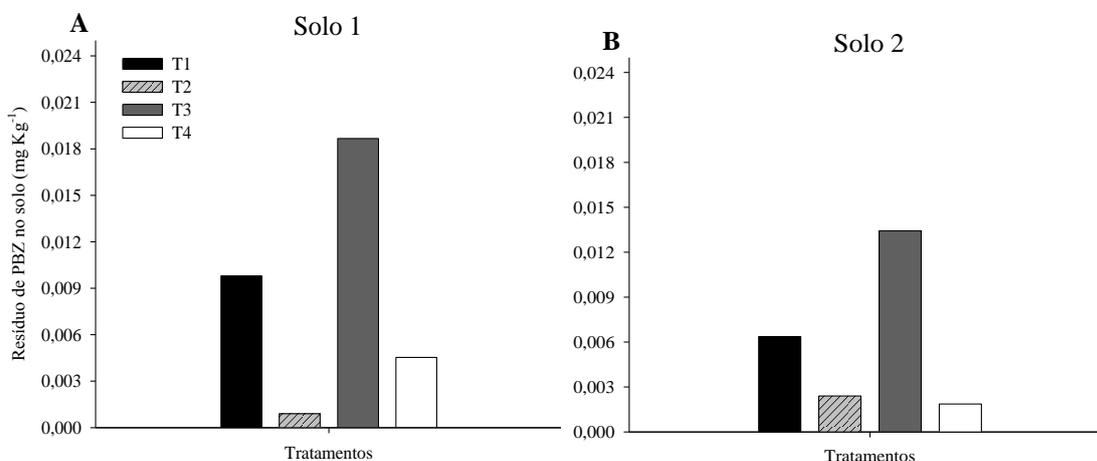
**Figura 4.** Estimativa de PBZ em todos os últimos fluxos vegetativos da parte aérea de mangueira cv. Keitt em função do uso de ácidos fúlvicos e aminoácido livres. Solo 1 (A); solo 2 (B). T1: PBZ + água (testemunha); T2: PBZ + ácidos fúlvicos; T3: PBZ + aminoácidos livres; e T4: PBZ + ácidos fúlvicos + aminoácidos livres. CA: caracterização da área (09/12/2017); AT: aplicação dos tratamentos; MR: maturação de ramos; RLH: redução de lamina hídrica; IF: indução floral; FP: florada plena; CH: fruto tamanho ‘chumbinho’.

Apesar dos efeitos notórios dos AF no T2, o T4 que também possuía AF, apresentou resultados menos eficientes, como a lenta absorção pelo sistema radicular (Figura 3 A-B) e o pico tardio de PBZ aos 30 DAP (Figura 4 A-B), provavelmente porque os AF podem reagir com os aminoácidos (que contenham dois grupamentos NH<sub>2</sub> protonáveis) por troca catiônica e formar algum complexo entre eles (BALDOTTO; BALDOTTO, 2014), resultando em menor quantidade de complexos com o PBZ, retardando seu transporte no solo, logo absorção, visto a competição para absorção de outras moléculas.

A melhor absorção de PBZ pelo uso de AF isoladamente (T2) pode ser explicada graças as interações hidrofóbicas e hidrofílicas entre o PBZ e a MO, que aumenta a adsorção da molécula (MILFONT et al., 2008). Assim uma maior quantidade de PBZ permanece disponível à planta por mais tempo, por ser translocado junto com a MO, principalmente por AF, pois estes apresentam menor massa molecular e assim maior facilidade para se movimentar no solo, próximo as zonas radiculares e dentro da planta (NARDI et al., 2007). A forma supramolecular das substâncias húmicas e as respostas aos ácidos orgânicos têm sido apontadas para explicar a bioatividade nas plantas (CANELLAS; OLIVARES, 2014).

Ao final do experimento, observa-se diferença marcante no resíduo de PBZ presente no solo, destacando-se que o T2 apresentou a menor quantidade de resíduo no

solo (Figura 5), caracterizando-o como um tratamento que promove uso eficiente do PBZ que foi aplicado e reduz os impactos ambientais.



**Figura 5.** Resíduo de PBZ no solo de mangueira cv. Keitt em função do uso de ácidos fúlvicos e aminoácido livres aos 272 dias após a aplicação do PBZ. Solo 1 (A); solo 2 (B). T1: PBZ + água (testemunha); T2: PBZ + ácidos fúlvicos; T3: PBZ + aminoácidos livres; e T4: PBZ + ácidos fúlvicos + aminoácidos livres.

Com o acréscimo inicial e redução final dos níveis de PBZ na planta pode-se observar que o PBZ foi paulatinamente sendo utilizado durante as fases fenológicas da mangueira, logo o decréscimo mais rápido no T2 mostra que ele foi usado mais rapidamente, durante a fase de maturação de ramos em ambos os solos (Figura 4), o que é bastante interessante para a cultura, devido a necessidade de acumular carboidratos.

Outra vertente é o efeito das substâncias húmicas na estimulação da síntese de auxina, responsável pela expansão e alongamento celular (TREVISAN et al., 2010). A expansão está relacionada com a síntese de  $H^+$ -ATPase que bombeiam prótons para formar ATP, ocasionando uma variação no potencial eletroquímico, reduzindo o pH do apoplasto, tornando mais maleável a parede celular, assim facilitando o crescimento radicular (ZANDONADI et al., 2010), principalmente raízes laterais, que são mais importantes para absorção de água e nutrientes (CARON et al., 2015). O que pode explicar o menor resíduo de PBZ nos solos para os tratamentos com AF, visto maiores pontos de absorção.

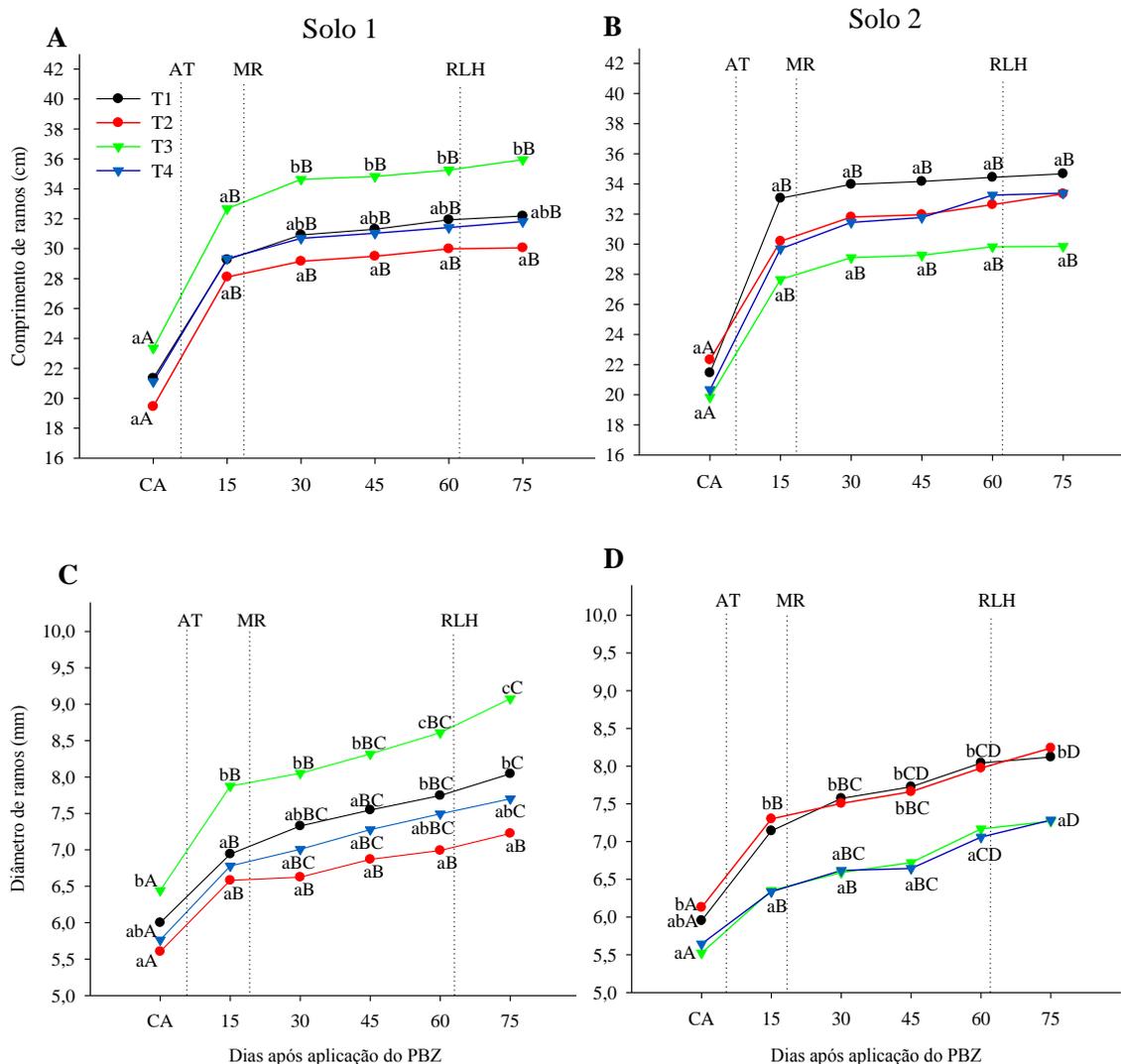
O PBZ permanece ativo no solo por um grande período, mas varia de acordo com o tipo de solo e condições climáticas impostas sobre a molécula (COSTA et al., 2012). Em um experimento no sul da Índia o PBZ se mostrou persistente no solo até 210 dias, após aplicação de 5 e 10 g de PBZ planta<sup>-1</sup> (SHALINI; SHARMA, 2006).

Os resíduos de PBZ nos solos do presente estudo ficaram abaixo dos encontrados por Bhattacharjee e Singh (2015) que após 300 dias da aplicação de 0,8 e 1,6 g a.i.de PBZ planta<sup>-1</sup> detectaram 0,01 e 0,03 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, e em folhas só foi detectado resíduo após 60 dias (leituras tiveram intervalos de 30 dias), mostrando ter sido translocado mais lentamente para a parte aérea, do que os resultados do presente estudo.

Ressalta-se que a aplicação do PBZ realizada no estudo de Bhattacharjee e Singh (2015) foi feita em sulco de 15 cm de profundidade e 30 cm de largura em um diâmetro radial de 1 m do tronco da árvore (aplicação convencional), sendo este um modo de aplicação menos eficaz que a fertirrigação usada no presente estudo (DE SOUZA et al., 2018). Silva et al. (2017) avaliaram concentrações de PBZ no solo pelo método de extração 'QuEChErs' e determinação por CLAE, e encontraram variação de 0,14 a 6,86 mg kg<sup>-1</sup> em solos cultivados com diferentes variedades de mangueira, sendo que os pomares de cv. Keitt apresentaram concentrações de 1,49 a 0,18 mg kg<sup>-1</sup> aos 150 DAP, portanto, valores superiores aos do presente estudo (Figura 5).

Na figura 6 é observa-se o efeito dos tratamentos sobre o crescimento vegetativo da mangueira. Em relação à paralização do crescimento vegetativo de ramos a ação do PBZ foi bastante rápida, pois apresentou efeito significativo aos 15 dias após sua aplicação em ambos os solos, reduzindo o alongamento do comprimento em todos os tratamentos (Figura 6 A-B). Entretanto, não houve diferenças significativas entre a testemunha (T1) e os demais tratamentos, apenas entre o T2 e T3 no solo 1 a partir do dia 30 adiante, sendo que o T2 obteve os menores valores (Figura 6 A-B).

Mouco et al. (2011) obtiveram 4,98 cm a menos no comprimento de ramos com uso de PBZ (4,0 g i.a. planta<sup>-1</sup>) em relação a testemunha, em cultivar Kent. Meena et al. (2014) afirma que o menor comprimento de ramos em função do uso de PBZ se dá pela supressão de giberlinas, pois estas atuam no alongamento celular, e nestas condições apesar de permanecer ocorrendo divisão celular, as novas células não são alongadas, resultando menores comprimentos internodiais.



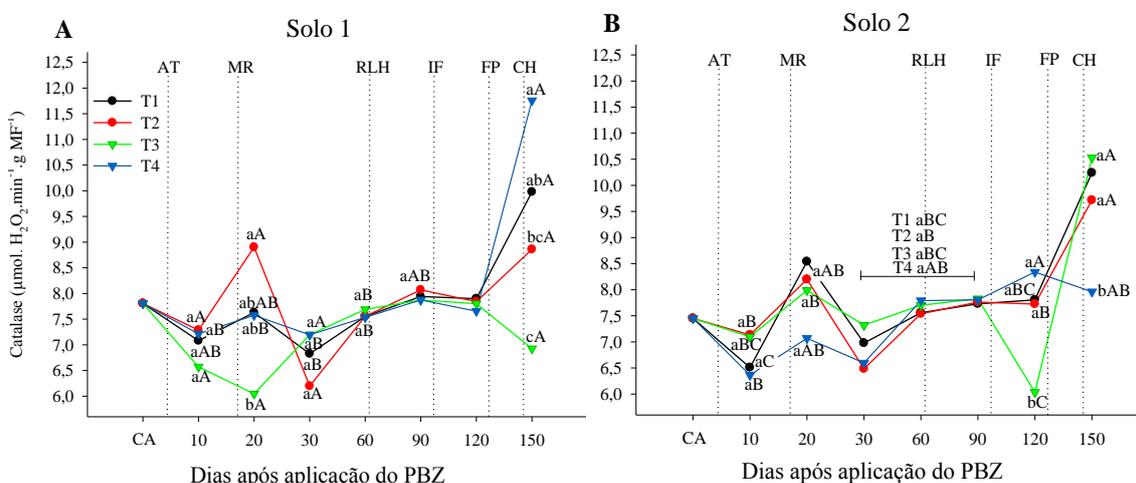
**Figura 6.** Comprimento de ramos [solo 1 (A); solo 2 (B)]; diâmetro de ramos [solo 1 (C); solo 2 (D)] de mangueira cv. Keitt em função do uso de ácidos fúlvicos e aminoácidos livres. Letras minúsculas comparam os tratamentos em cada data de avaliação separadamente, letras maiúsculas comparam cada tratamento entre as datas de avaliação. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. T1: PBZ + água (testemunha); T2: PBZ + ácidos fúlvicos; T3: PBZ + aminoácidos livres; e T4: PBZ + ácidos fúlvicos + aminoácidos livres. CA: caracterização da área (09/12/2017); AT: aplicação dos tratamentos; MR: maturação de ramos; RLH: redução de lamina hídrica.

Para a variável diâmetro do último fluxo vegetativo, no solo 1, apenas o T3 foi diferente da testemunha, embora isto já tenha sido constatado antes mesmo da aplicação do PBZ (CA) (Figura 6 C-D). No solo 2, o T3 e T4 foram menores que o T1, e semelhantes entre si. Com relação às datas, o crescimento foi lento, mas progressivo para todos os tratamentos em ambos os solos.

Há relatos que o PBZ não atua, ou tem pouca influência, no crescimento secundário responsável pelo aumento do diâmetro das plantas, devido à atividade do

câmbio vascular e do felogênio (MEENA et al., 2014; HEGDE et al., 2018). Todavia, esta é uma avaliação pioneira, talvez a concentração das fontes usadas não tenha sido suficiente para expressar maior eficiência sobre esta variável.

O PBZ além de inibir a formação de ácido giberélico e reduzir o crescimento vegetativo, pode também elevar as atividades de enzimas antioxidantes (SAXENA et al., 2014). Neste trabalho houve efeito significativo para a atividade da enzima catalase em função da interação entre as datas e os tratamentos (Figura 7). No solo 1 durante a maturação de ramos (20 DAP) o T2 estava 32,08% significativamente superior ao T3 (Figura 7 A); já no solo 2 durante o florescimento (120 DAP) o T3 proporcionou significativa menor atividade que os demais tratamentos (Figura 7 B).



**Figura 7.** Atividade da enzima catalase de mangaieira cv. Keitt em função do uso de ácidos fúlvicos e aminoácidos livres. Solo 1 (A); solo 2 (B). Letras minúsculas comparam os tratamentos em cada data de avaliação separadamente, letras maiúsculas comparam cada tratamento entre as datas de avaliação. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. T1: PBZ + água (testemunha); T2: PBZ + ácidos fúlvicos; T3: PBZ + aminoácidos livres; e T4: PBZ + ácidos fúlvicos + aminoácidos livres. CA: caracterização da área (20/11/2017); AT: aplicação dos tratamentos; MR: maturação de ramos; RLH: redução de lamina hídrica; IF: indução floral; FP: florada plena; CH: fruto tamanho 'chumbinho'.

Em ambos os solos houve um aumento considerável na atividade da enzima aos 150 DAP (Figura 7), este aumento pode estar relacionado ao final do período chuvoso, e decréscimo da UR do ar (Figura 1). Para essa data, o incremento na atividade enzimática foi significativo para o T4, no solo 1, com acréscimo de 53,59% em relação a fase de FP (120 DAP) e para os tratamentos T1, T2 e T3 no solo 2, com acréscimo de 31,19; 25,77 e 74,48%, respectivamente.

Em condições climáticas adversas que causem estresses à planta, há um aumento na produção de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Nesta situação a maior atividade

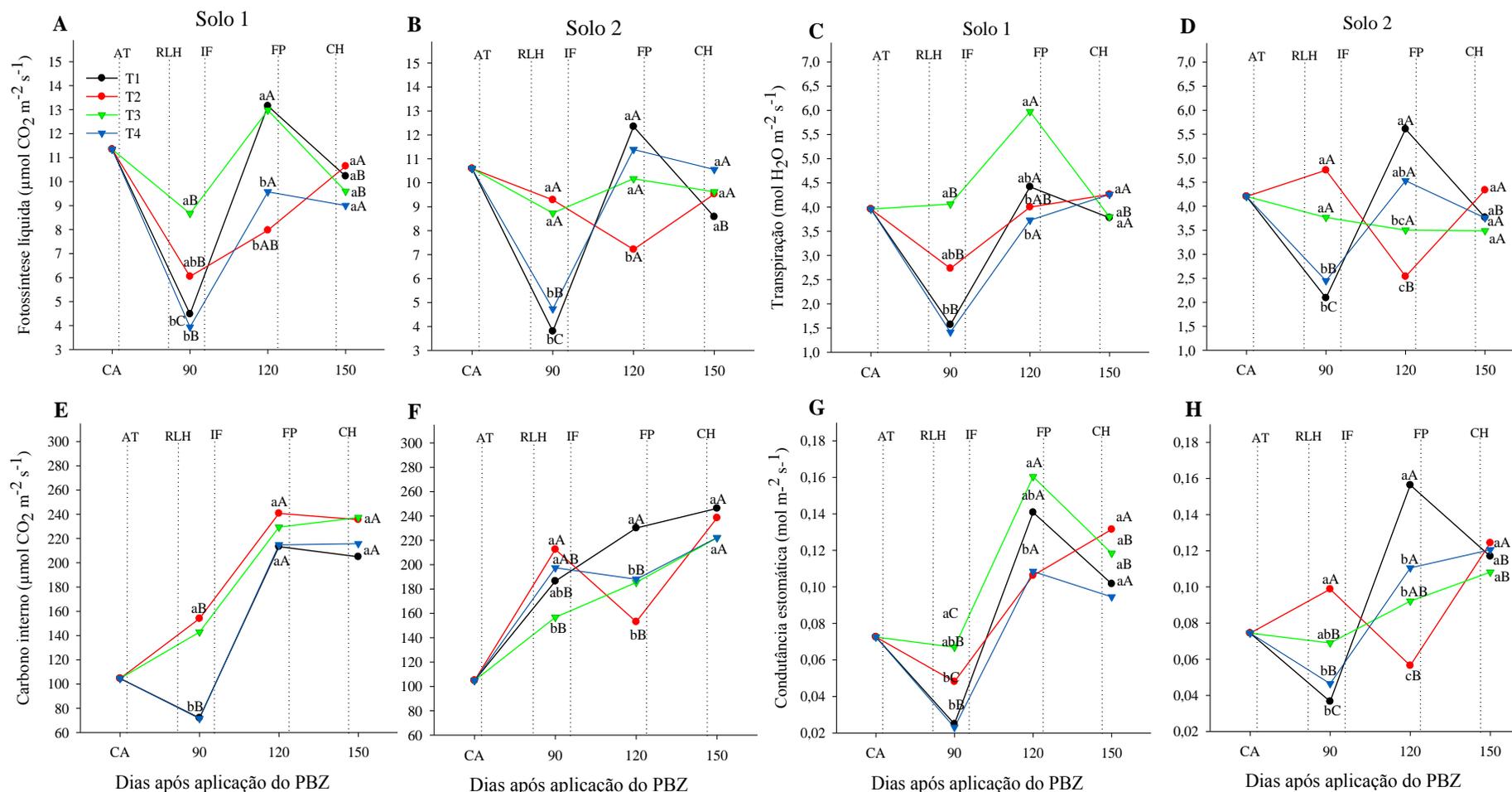
da catalase ocorre como um sistema de defesa das plantas, a fim de decompor  $H_2O_2$  em  $O_2$  e  $H_2O$  (McDonald, 1999), sendo esta uma etapa da fotorrespiração. Isso se dá pelo suporte do PBZ ao sistema fotossintético da mangueira.

A concentração de clorofila a, b e total nas folhas de mangueira aumenta com a concentração de PBZ (SUBBAIAH et al., 2018). Devido a inibição de giberelinas, os compostos intermediários são desviados para a produção da cadeia fitol (essencial da molécula de clorofila) (SRILATHA et al., 2014).

Srivastav et al. (2010) obtiveram um aumento no nível de atividade da catalase na mangueira cv. Olour com e sem PBZ, sendo que as plantas que receberam PBZ tiveram 46% a mais de atividade do que as plantas sem aplicação, além de ter um acréscimo proporcional ao aumento das doses, o que sugere equilíbrio entre conteúdo de radicais livres e reações de defesa enzimática por aumentar a produção de prolina e eliminação de radicais livres. Resultados similares foram encontrados por Saxena et al. (2014), em mangueiras Amrapali e Langra, com doses entre 2 e 8 g i.a. planta<sup>-1</sup> de PBZ.

Na figura 8 observa-se o efeito dos tratamentos para as trocas gasosas. No período de redução de lamina hídrica (RLH) o T1 e o T4 responderam mais severamente ao estresse, reduzindo a atividade fotossintética para menos de 5  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  nos dois solos e o T3 foi 93,33% maior que a testemunha no solo 1 e 129,69% no solo 2 (Figura 8 A-B).

Com a proximidade do florescimento pleno (FP), os tratamentos T1 e T4 elevaram a taxa fotossintética em ambos os solos, o T3 apenas no solo 1, e o T2 permaneceu estável. Na fase de frutos em tamanho ‘chumbinho’ (CH) não houve diferença significativa entre os tratamentos (Figura 8 A-B).



**Figura 8.** Fotossíntese líquida [solo 1 (A); solo 2 (B)]; transpiração [solo 1 (C); solo 2 (D)]; concentração interna de  $\text{CO}_2$  [solo 1 (E); solo 2 (F)]; condutância estômática [solo 1 (G); solo 2 (H)] de mangueira cv. Keitt em função do uso de ácidos fúlvicos e aminoácido livres. Letras minúsculas comparam os tratamentos em cada data de avaliação separadamente, letras maiúsculas comparam cada tratamento entre as datas de avaliação. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. T1: PBZ + água (testemunha); T2: PBZ + ácidos fúlvicos; T3: PBZ + aminoácidos livres; e T4: PBZ + ácidos fúlvicos + aminoácidos livres. CA: Caracterização da área (23/12/2017); AT: aplicação dos tratamentos; MR: maturação de ramos; RLH: redução de lamina hídrica.

ORABI, et al. (2010) verificaram que o PBZ pode, indiretamente, reduzir a fotorrespiração através da menor atividade da rubisco com oxigenase, potencializando fotossíntese líquida. Uma das etapas da fotorrespiração é a quebra de peróxido de hidrogênio pela catalase. No entanto, aos 90 dias a catalase estava igual para todos os tratamentos (Figura 7 A-B). Com isto, a diferença de fotossíntese líquida entre os tratamentos só pode ser atribuída a fotossíntese bruta e/ou respiração mitocondrial. Visto que a fotossíntese líquida é resultado da relação entre fotossíntese bruta, respiração e fotorrespiração (PEIXOTO et al., 2011).

A RLH é uma prática cultural recomendada para a mangueira em regiões semiáridas, pois possibilita uma maturação mais rápida e uniforme de ramos, embora, a redução não possa ser total, pois a planta tem que permanecer fotossintetizando para acumular reservas, mas sem vegetar (ALBUQUERQUE et al., 1999).

Para uma indução floral eficaz as plantas têm que aumentar a produção de carboidratos através da fotossíntese, devido a demanda para emissão de panículas. Todavia, o aumento acentuado de 193 e 143 % no solo 1 e 224 e 140 % no solo 2 no T1 e T4, respectivamente, entre a IF e o FP mostra que as plantas possuíam baixas reservas de carboidrato, assim elas precisaram aumentar em demasia a atividade fotossintética, porém em um momento muito tardio (Figura 8 A-B).

Os efeitos dos tratamentos sobre a transpiração foram similares aos da fotossíntese, mostrando que estas duas variáveis fotossintéticas possuem forte relação (Figura 8 C-D). O PBZ reduz do potencial hídrico das plantas por causa da concentração do produto na zona radicular, o que aumenta a resistência estomática consequentemente reduz a transpiração (SOUZA et al., 2016).

A condutância estomática segue a tendência dos outros parâmetros de troca gasosas já citados (Figura 2 G-H). A partir de 90 DAP até o período de florescimento, houve um acréscimo significativo da condutância estomática para os tratamentos, em ambos o solo (exceto para T2 no solo 2). Um dos fatores que explica a diferença entre essas fases é o regime hídrico juntamente com as altas temperaturas, pois mesmo que a variação de temperatura tenha sido mínima, a disponibilidade de água foi diferente. Na fase de RLH, reduziu-se em 50% a irrigação, enquanto que durante o florescimento houve acúmulo pluviométrico de aproximadamente 110mm (Figura 1), além da irrigação, resultando em aumento da condutância estomática.

Taiz et al. (2017) explicam que se o estresse por calor ocorrer junto com o déficit hídrico, os estômatos se fecham, a temperatura foliar sobe e a condutância estomática decresce, e quando há disponibilidade suficiente de água, a condutância aumenta para esfriar as folhas através da transpiração. O aumento na temperatura foliar pode comprometer enzimas ativas na carboxilação, e afetar a fixação de carbono, logo; a fotossíntese, condutância estomática e transpiração (SOUZA et al., 2016).

D'arêde et al. (2017) testaram diferentes doses de PBZ via foliar em cafeeiro e obtiveram efeitos positivos no aumento da eficiência de carboxilação e fotossíntese líquida em relação a testemunha sem PBZ. O valor máximo foi de  $6,97 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para fotossíntese e  $0,0286$  para carboxilação, com  $290 \text{ mg L}^{-1}$  e  $250 \text{ mg L}^{-1}$  de PBZ, respectivamente.

De maneira geral os resultados encontrados neste trabalho há uniformidade de tendência nas respostas aos tratamentos. O tratamento com ácidos fúlvicos apresentou os melhores resultados, e aquele com aminoácidos livres os piores, enquanto a união dos dois teve um efeito intermediário.

### **3.4. CONCLUSÃO**

Há efeito da adição de ácidos fúlvicos, aminoácidos livres ou ambos na absorção de PBZ pela mangueira 'Keitt';

A adição de ácido fúlvico ao paclobutrazol melhora a absorção do PBZ pela planta, conferindo também melhores respostas para trocas gasosas, inibição de crescimento vegetativo e melhor atividade da enzima catalase em mangueira cv. Keitt;

Ao final do período produtivo há menor resíduo de PBZ no solo quando esse é aplicado conjuntamente ao ácido fúlvico isoladamente e, portanto, esse tratamento pode ser recomendado para manejo para cultura em condições semiáridas.

### 3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A. S. de et al. **O cultivo da mangueira irrigada no semi-árido brasileiro**. Embrapa Semiárido, CPATSA: Petrolina, p. 77, 1999.

ALBUQUERQUE, J. A. S. de; MEDINA, V. D.; MOUCO, M. A. do C. Indução floral. In: GENUÍ, P. J. de C.; PINTO, A. C. de Q. (Ed.). **A cultura da mangueira**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 259-276, 2002.

ANASTASSIADES, M. et al. Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and “dispersive solid-phase extraction” for the determination of pesticide residues in produce. **Journal of AOAC international**, Rockville, v. 86, n. 2, p. 412-431, 2003.

ASHMEAD, H. H., inventor; Albion Laboratories, Assignee. **Pure amino acid chelates**. United States patent US 4,599,152. 1986 Jul 8.

BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, p. 856-881, 2014.

BEERS, R. F.; SIZER, I. W. A spectrophotometric method for measuring the breakdown of hydrogen peroxide by catalase. **Journal of Biological Chemistry**, Rockville, v. 195, n. 1, p. 133-140, 1952.

BHATTACHERJEE, A. K.; SINGH, V. K. Uptake of soil applied paclobutrazol in mango cv. Dashehari and its persistence in soil, leaves and fruits. **Indian Journal of Plant Physiology**, New Delhi, v. 20, n. 1, p. 39-43, 2015.

CANELLAS, L. P. et al. Reações da matéria orgânica In: SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. de O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª ed. Porto Alegre, Metrópole. p. 45-63, 2008.

CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, New York, v. 1, n. 1, p. 1-11, 2014.

CANELLAS, L. P. et al. Bioatividade de substâncias húmicas: ação sobre desenvolvimento e metabolismo das plantas. In: CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. (Ed.). **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Campos dos Goytacazes: CCTA, UENF, p. 224-243, 2005.

CANELLAS, L. P. et al. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 196, p. 15-27, 2015.

CARNEIRO, M. A. et al. Soil salinity and yield of mango fertigated with potassium sources. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 5, p. 310-316, 2017.

CARON, V. C.; GRAÇAS, J. P.; CASTRO, P. R. de C. **Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos**. Piracicaba: ESALQ/USP, Divisão de Biblioteca, p. 46, 2015.

CASTRO, P. R. de C. E.; CARVALHO, M. E. A. **Aminoácidos e suas aplicações na agricultura**. Piracicaba: ESALQ/USP, Divisão de Biblioteca, p. 58, 2014.

CAVALCANTE, Í. H. L. et al. A new approach to induce mango shoot maturation in Brazilian semi-arid environment. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, Quedlinburg, v. 91, p. 281-286, 2018.

COSTA, M. A. et al. Residue of 14 C-Paclobutrazol in mango. **IOSR Journal of Engineering**, v. 2, n. 1, p. 1165-1167, 2012.

D'ARÊDE, L. O. et al. Morfofisiologia do crescimento vegetativo inicial de cafeeiros arabica submetidos a aplicação via foliar de Paclobutrazol. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 4, p. 451-462, 2017.

DE SOUZA, M. A. et al. Manejo da quimigação para indução floral da mangueira "Palmer" no Submédio do Vale do São Francisco. **Irriga**, Botucatu, v. 23, n. 3, p. 442-453, 2018.

HEGDE, S. et al. Influence of Paclobutrazol on growth and yield of Jamun cv. Chintamani. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, Kanchipuram, v. 7, n. 1, p. 1590-1599, 2018.

JANNIN, L. et al. Microarray analysis of humic acid effects on *Brassica napus* growth: involvement of N, C and S metabolisms. **Plant and soil**, Berlim, v. 359, n. 1-2, p. 297-319, 2012.

KISHORE, K.; SINGH, H. S.; KURIAN, R. M. Paclobutrazol use in perennial fruit crops and its residual effects: A review. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v. 85, n. 7, p. 863-872, 2015.

LEVER, B. G. 'Cultar'-a technical overview. In: V International Symposium on Growth Regulators in Fruit Production. **Acta Horticulturae**, Leuven, 179, p. 459-466, 1985.

LOPES, P. R. C.; HAJI, F. N. P.; MOREIRA, A. N.; MATTOS, M. A. A. **Normas técnicas e documentos de acompanhamento da Produção Integrada de Manga**. Embrapa Semi-Árido: Petrolina, p. 72, 2003.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2ª ed. Potafos: Piracicaba, p. 319, 1997.

McDONALD, M. B. Seed deterioration: physiology, repair and assesement. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 27, n. 1, p. 177-237, 1999.

MEENA, R. K. et al. Effect of Paclobutrazol on growth and yield of Cashew (*Anacardium occidentale* L.). **Indian Society Plant Research**. New Delhi, v. 27, n. 1, p. 11-16, 2014.

MILFONT, M. L. et al. Transporte do paclobutrazol em colunas de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.5, p. 2165-2175, 2008.

MILFONT, M. L. **Transporte e sorção do agroquímico paclobutrazol em solos irrigados cultivados com manga**. Recife, Universidade Federal de Pernambuco, p. 110, 2006. (Tese de Doutorado).

MOUCO, M. A. do C. **Manejo da floração de mangueiras no semi-árido do nordeste brasileiro com inibidores da síntese de giberelinas**. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, p. 107, 2008. (Tese de Doutorado).

MOUCO, M. D. do C., ONO, E. O., RODRIGUES, J. D. Controle do crescimento vegetativo e floração de mangueiras cv. Kent com reguladores de crescimento vegetal. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.33, n.4, p. 1043-1047, 2011.

NARDI, S. et al. Relationship between molecular characteristics of soil humic fractions and glycolytic pathway and krebs cycle in maize seedlings. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 39, n. 12, p. 3138-3146, 2007.

OLDONI, F. C. A. et al. Boron fertilizing management on fruit production and quality of mango cv. Palmer in semiarid. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 40, n. 3, p. 1-8, 2018.

ORABI, S. A.; SALMAN, S. R.; SHALABY, M. A. Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. **World Journal of Agricultural Sciences**, Faisalabad, v. 6, n. 3, p. 252-259, 2010.

PEIXOTO, C. P.; CRUZ, T. V.; PEIXOTO, M. F. S. Análise quantitativa do crescimento de plantas: Conceitos e prática. **Enciclopédia biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 51-76, 2011.

RADEMACHER, W.; SPINELLI, F.; COSTA, G.; Prohexadione-Ca: Modes of action of a multifunctional plant bioregulator for fruit trees. **Acta Horticulturae**. Leuven, n. 727, p. 97-106, 2006.

SAXENA, P.; SINGH, V. K.; PATHAK, N. Antioxidative enzymes and biochemical changes in paclobutrazol induced flowering in mango (*M. indica*) cultivars. **Journal of Environmental Biology**, Lucknow, v. 35, n. 6, p. 1061, 2014.

SEYEDBAGHERI, M. M. Influence of humic products on soil health and potato production. **Potato Research**, Heidelberg, v. 53, n. 4, p. 341-349, 2010.

SILVA, D. J. et al. Nutrição e Adubação. In: GENU, P. J. de C.; PINTO, C. A. de Q. (Ed.). **A cultura da mangueira**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 191-222, 2002.

SILVA, P. T. de S. et al. Análise de paclobutrazol em solos de áreas cultivadas com diferentes variedades de mangueira no Vale do São Francisco empregando QuEcHers e CLAE. **Scientia Plena**, São Cristóvão, v. 13, n. 9, p. 1-9, 2017.

SOUZA, M. A. de et al. Physiological and biochemical characterization of mango tree with paclobutrazol application via irrigation<sup>1</sup>. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 46, n. 4, p. 442-449, 2016.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. 2<sup>a</sup> ed. Oxford university press: New York, p. 329, 2008.

SRIVASTAV, M. et al. Effect of paclobutrazol and salinity on ion leakage, proline content and activities of antioxidant enzymes in mango (*Mangifera indica* L.). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 125, n. 4, p. 785-788, 2010.

SUBBAIAH, K. V. et al. Effect of paclobutrazol on hermaphrodite flowers, leaf chlorophyll. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, Kanchipuram, v. 7, n. 04, p. 1-7, 2018.

SRILATHA, V.; REDDY, Y. T. N.; PRASAD, S. R. S. Mango flowering physiology in response to paclobutrazol application. In: RAVISHANKAR, H. et al. **National Seminar-Workshop on Physiology of Flowering in Perennial Fruit Crops**. Souvenir: Lucknow. p. 241-249, 2014.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6<sup>a</sup> ed. Artmed Editora: Porto Alegre. p. 858, 2017.

TANG, W. W. et al. Impact of humic/fulvic acid on the removal of heavy metals from aqueous solutions using nanomaterials: a review. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 468, p. 1014-1027, 2014.

TREVISAN, S. et al. Humic substances induce lateral root formation and expression of the early auxin-responsive IAA19 gene and DR5 synthetic element in Arabidopsis. **Plant Biology**. Stuttgart, v. 12, n. 4, p. 604-614, 2010.

ZANDONADI, D. B. et al. Nitric oxide mediates humic acids-induced root development and plasma membrane H<sup>+</sup>-ATPase activation. **Planta**, Heidelberg, v. 231, n. 5, p. 1025-1036, 2010.

## 4. CAPÍTULO 2: ÁCIDOS FÚLVICOS E AMINOÁCIDOS LIVRES NA POTENCIALIZAÇÃO DO EFEITO DE PBZ NA MANGUEIRA ‘KEITT’

Luan dos Santos Silva

Universidade Federal do Piauí, Campus Prof.<sup>a</sup> Cinobelina Elvas, Bom Jesus – PI, Brasil

### RESUMO

A mangueira, quando está sob condições naturais e sem práticas de manejo em uma região de clima semiárido tropical, apresenta altas concentrações de giberelina, isto restringe sua floração a apenas uma época no ano. No entanto, com o uso de práticas de indução floral é possível programar o florescimento para qualquer época do ano, portanto a produção. Dentre as práticas de indução floral o uso de fitorreguladores é crucial para o sucesso do manejo. O principal fitorregulador é o paclobutrazol (PBZ), responsável pela supressão da biossíntese de giberelinas, entretanto, o PBZ apresenta baixa mobilidade no solo o que dificulta seu uso eficiente. Com isso, novas tecnologias devem ser buscadas para potencializar o efeito do PBZ. Substâncias orgânicas têm se mostrado promissora na melhora de absorção de íons e moléculas, como ácidos fúlvicos e aminoácidos livres, que dão mobilidade aos íons através da complexação. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a efetividade de ácidos fúlvicos e aminoácidos livres sobre a potencialização do efeito do paclobutrazol na inibição de biossíntese de giberelina. O experimento foi realizado em pomar de mangueira cv. ‘Keitt’, em Cabrobó-PE, entre novembro de 2017 e setembro de 2018. O clima do local é classificado como BswH (Köppen), uma região semiárida. O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso com tratamentos distribuídos em faixa com e cinco repetições de quatro plantas cada. Os tratamentos foram: T1: PBZ + água (testemunha); T2: PBZ + ácidos fúlvicos; T3: PBZ + aminoácidos livres; T4: PBZ + ácidos fúlvicos + aminoácidos livres. O experimento foi conduzido sob duas condições de solos. Foram avaliadas as seguintes variáveis: Aminoácidos livres; proteínas solúveis totais; giberelinas totais; carboidratos solúveis totais; florescimento; malformação floral e; produtividade. Há efeito da adição de ácidos fúlvicos, aminoácidos livres ou ambos na potencialização do efeito do PBZ em mangueira ‘Keitt’. A adição de ácidos fúlvicos ao paclobutrazol melhora a eficiência do PBZ, inibindo a biossíntese de giberelina no momento mais apropriado, mantendo os níveis de carboidratos, proteínas e aminoácidos, gerando uniformidade da floração e, conseqüentemente, proporcionando maior produtividade em mangueira cv. ‘Keitt’. Portanto, a adição de ácidos fúlvicos ao paclobutrazol pode ser recomendado para manejo da cultura em condições semiáridas tropicais.

Palavras chave: *Mangifera indica* L., indução floral, ácido giberélico, substâncias húmicas

## CHAPTER 2: FULVIC ACIDS AND FREE AMINO ACIDS IN THE POTENTIALIZATION OF THE EFFECT OF PBZ IN THE MANGO TREE 'KEITT'

Luan dos Santos Silva

Universidade Federal do Piauí, Campus Prof.<sup>a</sup> Cinobelina Elvas, Bom Jesus – PI, Brasil

### ABSTRACT

The mango tree, when under natural conditions and without management practices in a region of tropical semiarid climate, presents high concentrations of gibberellin, this restricts its flowering to only one season in the year. However, with the use of floral induction practices it is possible to program flowering for any time of year, thus production. Among the practices of floral induction, the use of phyto regulators is crucial to the success of the management. The main phyto regulator is paclobutrazol (PBZ), responsible for the suppression of biosynthesis of gibberellins. However, PBZ has low mobility in the soil, which makes its efficient use difficult. With this, new technologies must be sought to enhance the PBZ effect. Organic substances have shown promise in improving the absorption of ions and molecules, such as fulvic acids and free amino acids, which give the ions mobility through complexation. In this sense, the objective of this study was to evaluate the effectiveness of fulvic acids and free amino acids on the potentiation of the effect of paclobutrazol on the inhibition of gibberellin biosynthesis. The experiment was carried out in a mango tree orchard cv. 'Keitt', in Cabrobó-PE, between November 2017 and September 2018. The climate of the place is classified as Bsw (Köppen), a semi-arid region. The experimental design was in randomized blocks with treatments distributed in strip with and five replicates of four plants each. The treatments were: T1: PBZ + water (control); T2: PBZ + fulvic acids; T3: PBZ + free amino acids; T4: PBZ + fulvic acids + free amino acids. The experiment was conducted under two soil conditions. The following variables were evaluated: Free amino acids; total soluble proteins; total gibberellins; total soluble carbohydrates; flowering; floral malformation; productivity. There is an effect of the addition of fulvic acids, free amino acids or both in potentializing the effect of PBZ on mango tree 'Keitt'. The addition of fulvic acids to paclobutrazol improves the efficiency of PBZ, inhibiting the biosynthesis of gibberellin at the most appropriate time, maintaining carbohydrate, protein and amino acid levels, generating flowering uniformity and, consequently, providing higher productivity in mango tree cv. 'Keitt'. Therefore, the addition of fulvic acids to paclobutrazol can be recommended for crop management under tropical semiarid conditions.

Key words: *Mangifera indica* L., floral induction, gibberellic acid, humic substances

#### 4.1. INTRODUÇÃO

Sob condições naturais e sem a adoção de práticas de manejo a mangueira (*Mangifera indica* L.) floresce apenas em uma única época do ano, quando alguns fatores ambientais que influenciam a ruptura das gemas estão em condições ideais, tais como; temperatura, luz, fotoperíodo e estado nutricional (DAVENPORT, 2009; TAIZ et al., 2017), devido, dentre outros fatores, à espécie possuir grande concentrações de giberelinas, principalmente quando cultivada sob clima tropical (SANDIP et al., 2015).

No entanto, os pomares comerciais de mangueira do semiárido tropical brasileiro são manejados para cessar o crescimento vegetativo e induzir o desenvolvimento reprodutivo na época economicamente mais conveniente, através de poda, irrigação, adubação (CARNEIRO et al., 2017; OLDONI et al., 2018), maturação de ramos (CAVALCANTE et al., 2018), e fornecimento de fitorreguladores como o paclobutrazol (PBZ) (MOUCO et al., 2013).

O PBZ é um fitorregulador hormonal de crescimento que influencia o ciclo fisiológico da cultura pela inibição da biossíntese de giberelina (VAZ et al., 2014), com efeito na cultura da mangueira também na síntese de carboidratos (PRASAD et al., 2014), amido e atividade da  $\alpha$ -amilase (UPRETI et al., 2014), zeatina e zeatina ribosídeo (UPRETI et al., 2013), estimulando assim o florescimento em diferentes épocas do ano, quando associado às demais práticas culturais.

De acordo com a dose de PBZ aplicada é possível aumentar o percentual de floração, todavia, elevados valores podem causar prejuízos como compactação de novas brotações e de panículas (COELHO et al., 2014) e da expressão de doenças como a malformação floral causada pelo fungo *Fusarium mangiferae* (FREEMAN et al., 2014). Ressalta-se que as doses aplicadas, nem sempre são adequadas por não considerarem o resíduo de aplicações anteriores, o que pode ocasionar menor eficiência do fitorregulador (VAZ et al., 2015).

E ainda, o PBZ tem baixa mobilidade no solo, fazendo que ele não seja totalmente absorvido pelas plantas e acumulado no solo (MILFONT et al. 2008) podendo causar riscos ao meio ambiente, como contaminação de fontes hídricas superficiais e subterrâneas (SHARMA; AWASTHI, 2005; SILVA et al., 2017), o que ressalta a necessidade de estudos que viabilizem o uso mais racional desse insumo.

Assim, propõe-se o uso de substâncias orgânicas, como ácidos fúlvicos e aminoácidos livres, principalmente pelo efeito comum em complexar íons e moléculas, garantindo maior eficiência de absorção devido ao aumento de transporte no solo até as raízes e permeabilidade das membranas (CHEN et al., 2004).

Substâncias húmicas (SH) fazem parte da MO do solo, apresentam como principais características o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos (GONZÁLEZ et al., 2010), estímulo a proliferação de raízes laterais e adventícias (TREVISAN et al., 2010), regulação da absorção dos nutrientes (MARSCHNER; RENGER, 2012) e formação complexos com íons e moléculas, afetando o transporte de nutrientes no solo (CANELLAS et al., 2005).

As SH podem ser fracionadas em: ácidos fúlvicos (AF), solúveis em meio alcalino ou ácido; ácidos húmicos (AH), insolúveis em meio ácido e; huminas, insolúveis em meio alcalino ou ácido (ZANDONADI et al., 2014; CANELLAS et al., 2015). Os AF são considerados como os mais ativos na hidrólise de minerais e transporte de íons devido ao menor peso molecular, cadeias alifáticas, maior mobilidade no solo, menor arranjo estrutural (gerando maior área superficial específica), maior densidade de cargas e alta CTC, em comparação às demais frações das SH (CANELLAS et al., 2005).

Aminoácidos são outras substâncias capazes de formarem complexos com nutrientes resultando em maior e mais rápida absorção, pois atravessam a membrana plasmática por transporte ativo (CASTRO; CARVALHO, 2014), além de atuar na defesa das plantas (KOWALCZYK et al., 2008), serem considerados anti-estressantes, capazes de agir em processos morfofisiológicos como precursores de hormônios e enzimas promotoras de crescimento (CASTRO; CARVALHO, 2014) e melhorarem o crescimento, desenvolvimento e produção dos frutos (BORAS et al., 2011).

Entretanto há a possibilidade de interação entre as próprias substâncias, entre as substâncias orgânicas e a espécie vegetal objetivo do estudo, bem como a eficiência de absorção pode ser afetada pelas condições edafoclimáticas regionais, o que é ainda mais relevante considerando-se a peculiaridade do semiárido tropical.

Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a efetividade de ácidos fúlvicos e aminoácidos livres sobre a potencialização do efeito do paclobutrazol no manejo de florescimento da mangueira 'Keitt' cultivada no semiárido tropical.

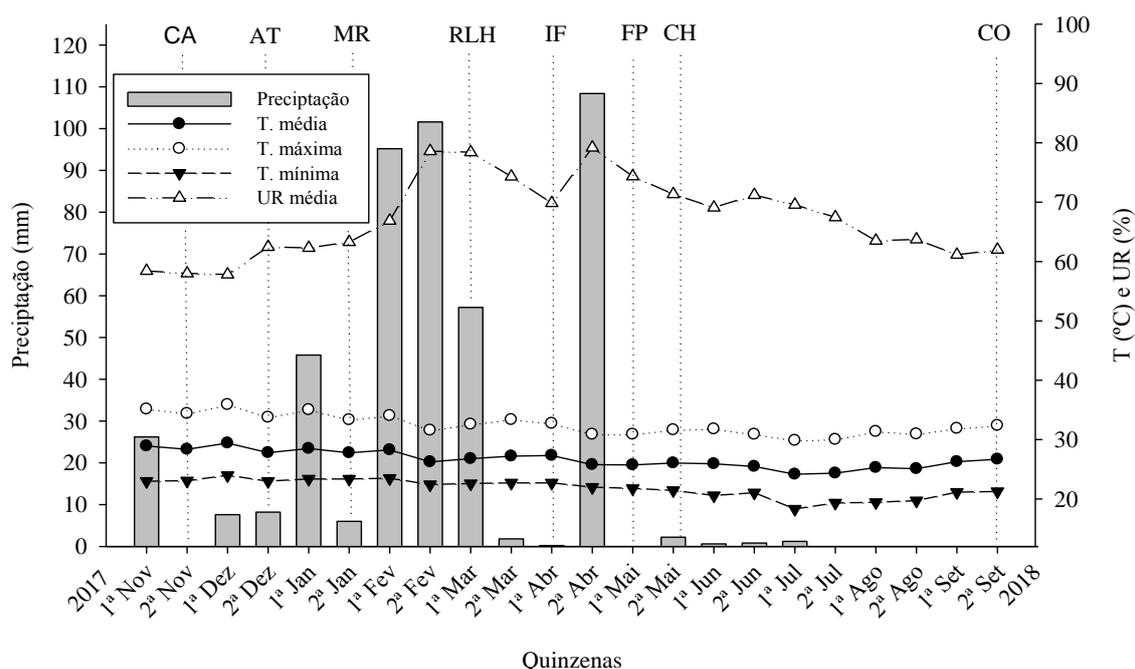
## 4.2. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em pomar de mangueira cv. Keitt enxertada sobre o porta-enxerto de mangueira cv. Espada, na fazenda Clorofila Agropecuária, em Cabrobó-PE, latitude 08° 31' S e longitude 39° 26' O, entre novembro de 2017 e setembro de 2018.

### 4.2.2. Índices pluviométricos e temperaturas

O clima do local é classificado como BswH (Köppen), que pertence a uma região semiárida. Durante a execução do experimento, os dados climáticos referentes à precipitação pluviométrica, temperatura e umidade relativa do ar foram registrados em estação meteorológica automática instalada na fazenda e constam na Figura 1.



**Figura 1.** Temperaturas máxima, mínima e média do ar, umidade relativa do ar e precipitação registrados durante a condução do experimento. CA: caracterização da área; AT: aplicação dos tratamentos; MR: maturação de ramos; RLH: redução de lamina hídrica; IF: indução floral; FP: florada plena; CH: fruto tamanho 'chumbinho'; CO: colheita.

### 4.2.3. Características do solo

O experimento foi conduzido concomitantemente em duas áreas distintas, caracterizadas a partir da coleta de solo antes da instalação dos experimentos, no dia 20

de novembro de 2017. As análises do solo (DONAGEMA et al., 2011) foram realizadas nos Laboratórios de Química e Física do Solo da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), *Campus* Ciências Agrárias, e os resultados encontram-se na Tabela 1.

**Tabela 1.** Análises química e física dos solos cultivados com mangueira cv. Keitt antes da instalação dos experimentos.

Solo	Camada	pH (H <sub>2</sub> O)	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	SB	V
	M		mg dm <sup>-3</sup>	_____ cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> _____							%
1	0,0 a 0,2	4,94	66,62	0,41	1,22	2,52	1,43	0,35	4,29	5,58	56,55
	0,2 a 0,4	5,33	31,22	0,31	1,13	2,91	1,91	0,25	3,05	6,26	67,21
2	0,0 a 0,2	5,37	70,62	0,36	0,78	3,20	1,65	0,08	3,05	5,99	66,25
	0,2 a 0,4	6,22	44,28	0,64	1,70	3,06	1,92	0,08	1,98	7,31	78,70

Solo	Camada	CTC (pH7)	MO	AF	AH	HU	CE	Areia	Argila	Silte	Textura
	M	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	_____ g kg <sup>-1</sup> _____			dS m <sup>-1</sup>	_____ dag kg <sup>-1</sup> _____				
1	0,0 a 0,2	9,87	11,13	0,03	1,44	4,45	0,06	51,13	15,90	32,97	Franca
	0,2 a 0,4	9,31	10,68	1,01	1,30	4,02	0,07	48,32	18,10	33,58	Franca
2	0,0 a 0,2	9,04	13,13	0,07	1,61	4,95	0,15	48,94	14,10	36,96	Franca
	0,2 a 0,4	9,29	9,68	0,84	1,62	5,53	0,17	54,81	16,40	28,79	Franca arenosa

CTC: Capacidade de troca catiônica; SB: Soma de bases; V: Saturação por bases; MO: Matéria orgânica; AF: Ácido fúlvico; AH: Ácido húmicos; HU: Humina; CE: Condutividade elétrica.

#### 4.2.4. Disposição do pomar e manejo da cultura no campo

As plantas estudadas foram dispostas num espaçamento 4x2 m, resultando numa densidade de 1250 plantas ha<sup>-1</sup>, em primeiro ciclo produtivo (data de transplantio: 20 de junho de 2015), com tamanho e vigor uniforme. O pomar foi irrigado pelo sistema localizado de gotejamento com duas linhas de tubos gotejadores por linha de planta (uma em cada lado da planta), com um emissor a cada 0,5 m proporcionando vazão individual de 2L h<sup>-1</sup>.

As práticas culturais referentes à poda, controle de plantas invasoras, pragas, doenças e colheita foram realizadas tendo como referência as normas técnicas da Produção Integrada de Manga definidas por Lopes et al. (2003), bem como manejo do florescimento incluiu poda de produção, paclobutrazol, maturação de ramos, desponte e

a ruptura de gema, seguindo as recomendações de Albuquerque et al. (2002). O manejo nutricional foi realizado através de sistema de fertirrigação, de acordo com a análise do solo e demanda da cultura (SILVA et al., 2002). Foi realizado ainda um raleio de ramos produtivos aos 27 dias após aplicação do PBZ mantendo-se aproximadamente 100 ramos por planta.

#### 4.2.5. Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso com tratamentos distribuídos em faixa com e cinco repetições de quatro plantas cada. Os tratamentos avaliados foram: T1: PBZ + água (testemunha); T2: PBZ + ácidos fúlvicos; T3: PBZ + aminoácidos livres; T4: PBZ + ácidos fúlvicos + aminoácidos livres. A fonte de PBZ utilizado foi o Cultar 250<sup>®</sup>, com 25% de ingrediente ativo (i.a). A dosagem de PBZ foi igual para todos os tratamentos; 1g i.a. por m<sup>-1</sup> de copa.

#### 4.2.6. Aplicação dos tratamentos em campo

As fontes e as doses de ácidos fúlvicos e de aminoácidos livres utilizadas foram, respectivamente: 16 ml planta<sup>-1</sup> de Aminoagro Mol<sup>®</sup> (10% de N, 1% de K<sub>2</sub>O e 8% de COT) e 16 ml planta<sup>-1</sup> de Aminoplus<sup>®</sup> (11% de N, 1% de K<sub>2</sub>O, 6% de COT e glutamato). As respectivas fontes foram aplicadas no dia 23 de dezembro de 2017, pelo sistema de fertirrigação, com aplicação dos produtos diretamente na linha de irrigação para cada tratamento juntamente com o PBZ.

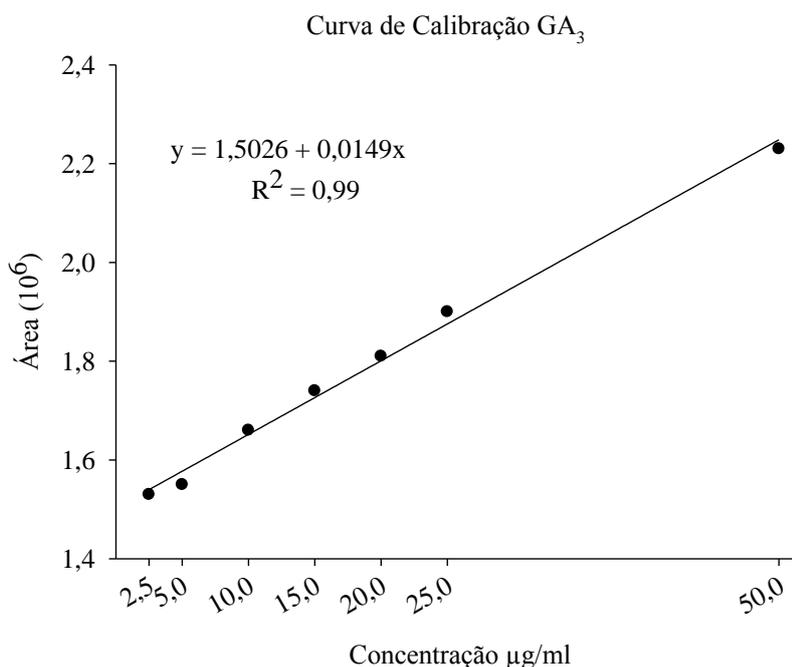
#### 4.2.7. Variáveis avaliadas

##### *Giberelinas totais*

As concentrações de GAs totais foram determinadas e quantificadas em gemas floríferas antes e 10, 20, 30, 60, 90, 120 após a aplicação dos tratamentos, coletadas até o momento recomendado para indução floral. As gemas floríferas coletadas foram imediatamente imersas em nitrogênio líquido e conduzidas para o Laboratório de Fisiologia Vegetal da UNIVASF. Utilizaram-se 50 mg de cada amostra macerada, adicionando 1,0 ml de metanol 80% no tubo eppendorf, agitado em vortex por 30 segundos para homogeneizar, após, levou-se para o banho ultra-sônico por 5 minutos, e

imediatamente foram centrifugada a 13.000 rpm por 10 minutos. O sobrenadante foi removido com uma pipeta e transferido para outro eppendorf, foi então realizado a primeira extração. Posteriormente, foram realizadas segunda e terceira extrações no mesmo eppendorf, acrescentando-se apenas 0,5 ml de metanol 80%, em seguida, o sobrenadante foi removido para o mesmo eppendorf da primeira extração, obtendo-se uma única extração. Em seguida, os extratos foram filtrados com filtro de seringa de 0,45 $\mu$ m e levou-se para o banho ultra-sônico por 3 minutos. Com os extratos prontos, foram transferidos para os vials para a injeção no cromatógrafo.

Para a curva de calibração (Figura 2) utilizou-se uma solução estoque de GA<sub>3</sub> padrão (Sigma-Aldrich). A partir da solução estoque, foram preparadas diluições na faixa de concentração de 2,5 – 50  $\mu$ g/ml. Cada solução de trabalho foi filtrada com um filtro de seringa de 0,45  $\mu$ m e sonicada por 5 min depois, 20  $\mu$ L de cada solução foram injetados. A concentração de GAs totais foi calculado a partir da equação da reta proveniente curva de calibração de GA<sub>3</sub> padrão.

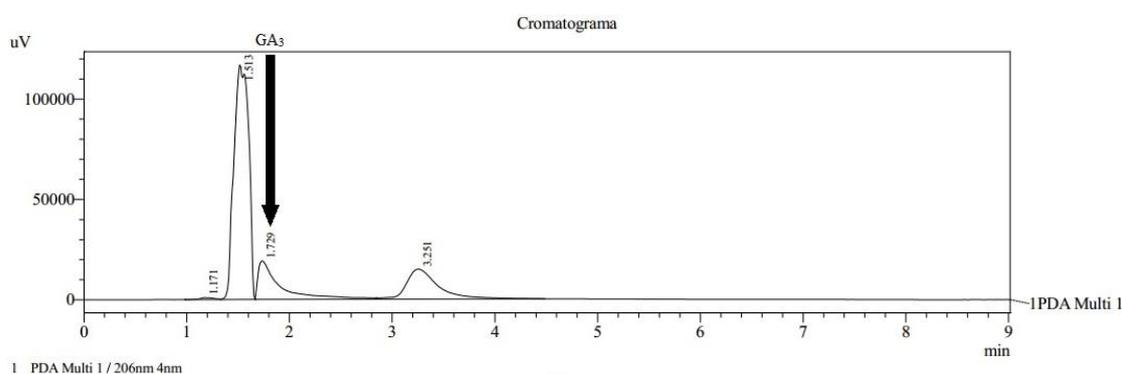


**Figura 2:** Curva de calibração GA<sub>3</sub> obtido por CLAE-DAD.

A determinação e quantificação de GAs totais foi conduzida em um cromatógrafo líquido (modelo Shimadzu<sup>®</sup> LC-20), utilizando coluna C-18 (SUPELCO 150 x 4,6 mm, 5  $\mu$ m, Ascentis<sup>®</sup> C18, Phenomenex<sup>®</sup>), com proporção de fase de 40:60 (A/B) referente 0,1% de ácido fórmico em água ultrapura e metanol respectivamente, em um fluxo

isocrático 1 ml/min. As amostras foram injetadas com 20µl e monitoradas em 206 nm, conforme a metodologia de Macías et al. (2014) com as adaptações anteriormente referidas. A identificação foi feita a partir da comparação dos tempos de retenção e do espectro com o espectro padrão. Os dados obtidos foram analisados através do software Shimadzu® LC solution 1.0 (Japão).

Os resultados foram expressos em percentual de ácido giberélico detectado nas amostras pela razão entre a área detectada (para os picos de uv equivalentes ao padrão GA<sub>3</sub>) e a área total de picos de uv de detectados pelo Cromatógrafo (Figura 3).



**Figura 3:** Cromatograma do extrato de gemas florais de mangueira cv. 'Keitt' obtido por CLAE – DAD em 206 nm.

### *Análises bioquímicas*

As coletas de material vegetal para as análises bioquímicas (carboidratos solúveis totais, aminoácidos livres e proteínas solúveis totais) foram realizadas inicialmente no dia 20 de novembro de 2017, como CA e posteriormente aos 10, 20, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após aplicação dos tratamentos, entre 10h00 e 11h00. Para tanto foram coletadas folhas conforme critérios definidos por Malavolta et al. (1997) para análise nutricional. O limbo foliar foi embalado em papel alumínio, identificado, imediatamente depositado em nitrogênio líquido para congelamento, conduzido ao Laboratório de Fisiologia Vegetal da UNIVASF, *Campus* Ciências Agrárias e conservado em freezer até o preparo do extrato bruto.

Para o preparo do extrato bruto pesou-se 2 g de matéria fresca do limbo foliar por amostra e macerou-se em cadinho de porcelana com pistilo, com uso de nitrogênio líquido, até a obtenção de um pó fino, do qual foram adicionados 10 mL de solução tampão fosfato de potássio 0,1 M, pH 7,0 contendo EDTA a 0,0001 M. O material obtido

foi filtrado em um tecido de musselina, colocado em eppendorf com capacidade para 2 ml e centrifugado a 12.000 rpm por 15min, em centrífuga refrigerada a 4 °C de bancada Sigma modelo 3-18K. O precipitado foi descartado e o sobrenadante utilizado para as análises dos teores de carboidratos solúveis totais, aminoácidos livres e proteínas solúveis totais.

Para a execução da análise dos carboidratos solúveis totais seguiu-se a metodologia de Dubois et al. (1956). A análise de aminoácidos foi feita conforme a metodologia de Yemm e Cocking (1955). A determinação de proteínas solúveis totais foi realizada pela metodologia de Bradford (1976).

#### *Florescimento*

O percentual de florescimento foi avaliado pela razão entre o número total de panículas emitidas e o número total de ramos por planta. Também foi mensurado o percentual de panículas acometidas de malformação floral (KAUR; KAUR, 2018), seguindo a mesma forma de avaliação do florescimento.

#### *Produtividade*

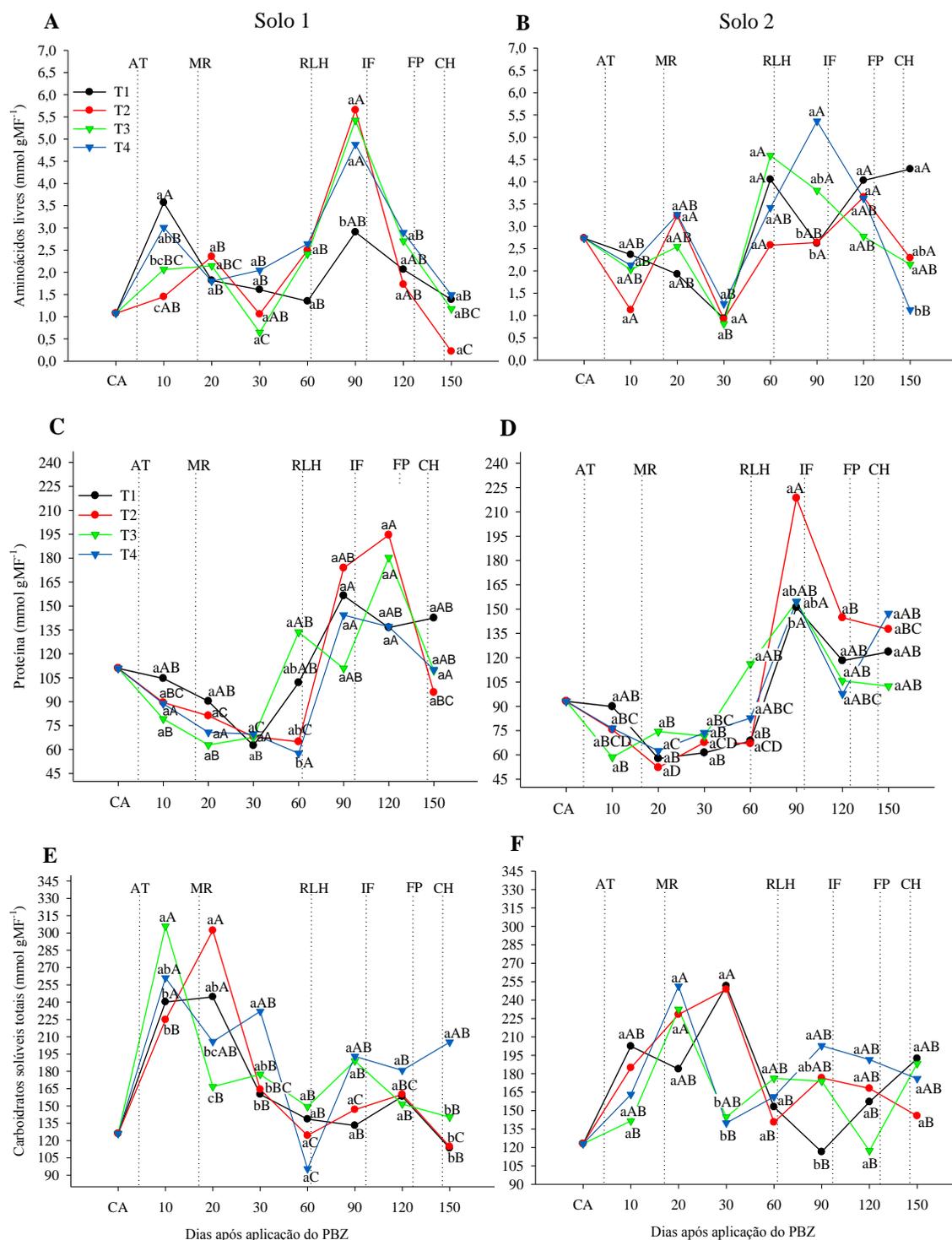
A colheita foi realizada no dia 20 e repasse no dia 26 de setembro de 2018, quando os frutos se encontravam no estágio 2 de maturação da polpa, caracterizado pela coloração da polpa creme-amarelada (FILGUEIRAS et al., 2000). Pesaram-se os frutos para obtenção da produtividade estimada ( $t\ ha^{-1}$ ), multiplicando a produção por planta pelo número de plantas por hectare.

#### 4.2.8. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância para avaliação dos efeitos significativos pelo teste “F”, e os tratamentos foram comparados entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade usando os softwares SISVAR e SIGMAPLOT, com exceção da variável giberelinas totais que foi discriminado apenas as médias das amostras por tratamento.

### 4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa entre os tratamentos e os períodos de avaliação sobre os níveis de aminoácidos livres, proteínas solúveis totais e carboidratos solúveis totais (Figura 4).



**Figura 4.** Aminoácidos livres [solo 1 (A); solo 2 (B)], proteínas solúveis totais [solo 1 (C); solo 2 (D)], carboidratos solúveis totais [solo 1 (A); solo 2 (B)] de mangaieira cv. Keitt em função do uso de ácidos

fúlvicos e aminoácido livres. Letras minúsculas comparam os tratamentos em cada data de avaliação separadamente, letras maiúsculas comparam cada tratamento entre as datas de avaliação. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. T1: PBZ + água (testemunha); T2: PBZ + ácidos fúlvicos; T3: PBZ + aminoácidos livres; e T4: PBZ + ácidos fúlvicos + aminoácidos livres. CA: caracterização da área; AT: aplicação dos tratamentos; MR: maturação de ramos; RLH: redução de lamina hídrica; IF: indução floral; FP: florada plena; CH: 'fruto tamanho 'chumbinho'.

Até o início da redução de lamina hídrica (RLH) os aminoácidos livres totais nas folhas das plantas situaram-se abaixo de 4,0 mmol/gMF em todos os tratamentos, nos dois solos. Neste período só houve diferença estatística entre os tratamentos no solo 1, aos 10 dias após aplicação do PBZ (DAP), quando o T2 estava 2,11 mmol/gMF abaixo da testemunha (Figura 4A).

Transcorrido 30 dias em regime de RLH (50% de redução), os níveis de aminoácidos livres totais aumentaram significativamente nas folhas das plantas dos tratamentos T2, T3 e T4, estando 94,55, 86,55 e 67,92% acima da testemunha (T1). No solo 2 houve diferença significativa aos 90 DAP, quando T3 e T4 foram 45,38 e 104,76% (respectivamente) superiores à testemunha (Figura 4 B).

Para proteínas totais só houve efeito significativo entre os tratamentos após a RLH (90 DAP) no solo 2, onde o T2 estava 44,60% acima da testemunha (Figura 4 D), mas apresentou significância entre as datas. No período avaliado é possível identificar uma distribuição de dados semelhante em ambos os solos para todos os tratamentos, variando apenas na intensidade. Durante a maturação de ramos (MR) os níveis de proteína estavam baixos, mas houve acréscimo a partir da RLH com picos próximo a indução floral. Neste intervalo o T2 teve o maior acréscimo, 199,81% no solo 1 e 225,91% no solo 2, e na fase seguinte houve decréscimo até a frutificação, aos 150 DAP.

Estudos apontam que há um aumento dos teores de aminoácidos nas folhas durante o estresse hídrico devido à degradação de proteínas pelas enzimas proteolíticas afim aumentar o potencial osmótico e combater os distúrbios nos tecidos do floema que diminuem a translocação de aminoácidos para outros órgãos (DE SOUZA et al., 2014; MEDEIROS et al., 2012).

Plantas do T2 atenuaram ainda mais os efeitos adversos da redução de lâmina hídrica, especialmente no solo 1 onde houve aumento no nível de aminoácidos e degradação de poucas proteínas; enquanto no solo 2, houve muito menos aminoácidos e muito mais proteína, apontando pouco nível de ajuste osmótico.

Com a RLH os sais presentes no solo se acumulam próximo as zonas radiculares, podendo causar estresse salino. Kishor et al. (2009) relatam que o PBZ atenua o estresse salino através do aumento de pigmentos fotossintéticos, conteúdo de água, absorção e acúmulo de K, e redução da desfolha, lesões de membrana, absorção e acumulação prejudicial de Na e Cl.

Osuna-Enciso et al. (2001) trabalhando com mangueira cv. Manila relataram que gemas em fases vegetativas apresentavam menos aminoácidos do que gemas em iniciação floral, mostrando que a floração requer aumento da produção de aminoácidos, principalmente a glicina, por tratar-se de aminoácido atuante na fotorrespiração, um recurso metabólico comum em locais de altas temperaturas e radiação solar.

A Figura 4 E-F mostra que os níveis de carboidratos aumentaram com a aplicação do PBZ, com comportamento inicial distinto entre os tratamentos, especialmente para T1 e T2 que tiveram acréscimo máximo aos 20 e 30 DAP nos solos 1 e 2, respectivamente. Enquanto que os maiores picos de carboidratos conferidos pelos tratamentos T3 e T4 foram aos 10 DAP no solo 1 e aos 20 DAP no solo 2.

O acréscimo nos níveis de carboidratos solúveis totais durante a maturação de ramos ocorreu pela ação do PBZ, por intermédio da supressão de giberelinas, para reduzir o crescimento vegetativo, bem como pelo uso de sulfato de potássio ( $K_2SO_4$ ), que aumenta a relação K/N restringindo ainda mais o crescimento vegetativo (COUTINHO et al., 2016). Resultado semelhante foi registrado por Cavalcante et al. (2018) ao estudarem a maturação de ramos da mangueira cv. Palmer cultivada no semiárido tropical e concluírem que as concentrações de carboidratos, K foliar e a produção de frutos de manga 'Palmer' dependem da estratégia de maturação da parte aérea. A maturação do broto com bioestimulante contendo *Ascophyllum nodosum* e K, a partir de 30 dias após o uso de PBZ, teve excelentes resultados para a maturação de ramos e, conseqüentemente, para a produtividade.

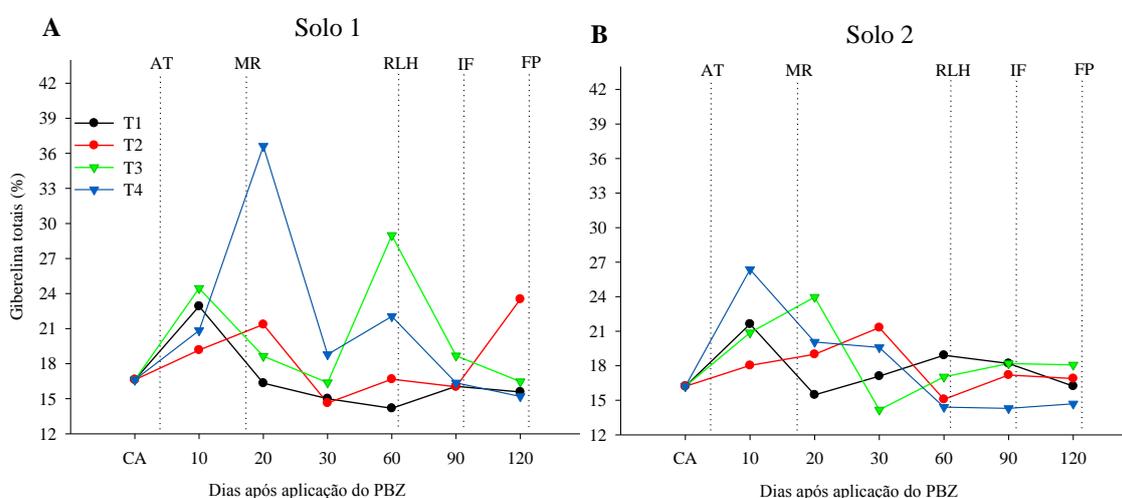
Apesar de não ter ocorrido diferença estatística entre os tratamentos durante o florescimento, no geral podemos salientar que a velocidade em função do tempo a tendência dos dados foi diferente entre os tratamentos. T1 e T2 levaram 10 dias a mais para decair a concentração de carboidrato em relação a T3 e T4 (Figura 4 E-F), mostrando que eles acumularam mais carboidrato durante a maturação de ramos. Estes resultados são indicativos da maior eficiência de absorção e uso de PBZ condicionados

especialmente pelo T2 no acúmulo de carboidratos, destacando-se esse tratamento aos 20 DAP apresentou 23,59 e 24,14% acima do T1 nos solos 1 e 2, respectivamente, o que deve ter contribuído para maior percentual de floração desse tratamento.

De los Santos-Villalobos et al. (2013) constataram que há redução dos níveis de carboidratos nas folhas ao longo do tempo, caracterizados pela ocorrência de floração, ou seja, as gemas florais acumulam açúcares solúveis para formação de panículas, e ainda as folhas usam esses açúcares para respiração e síntese de moléculas necessárias na floração. Com isto, os açúcares acumulados nos brotos reduzem o potencial osmótico e provocam o a ruptura de gemas (BENKEBLIA et al., 2005).

Upreti et al. (2013) obtiveram redução dos carboidratos com uso de PBZ (3 ml m<sup>-1</sup> linear de copa) e florescimento mais rápido sem alterar a qualidade dos frutos, por causa do aumento da relação C/N na parte aérea, do potencial hídrico foliar, ABA, citocininas, e redução nas giberelinas (GA<sub>1</sub>, GA<sub>3</sub>, GA<sub>4</sub> e GA<sub>7</sub>) nos brotos.

A Figura 5 ilustra o percentual de giberelina totais em gemas de mangueira, em função dos tratamentos desde o segundo fluxo vegetativo até o florescimento pleno.



**Figura 5.** Percentual de giberelina de mangueira cv. Keitt em função do uso de ácidos fúlvicos e aminoácido livres. Solo 1 (A); solo 2 (B). T1: PBZ + água (testemunha); T2: PBZ + ácidos fúlvicos; T3: PBZ + aminoácidos livres; e T4: PBZ + ácidos fúlvicos + aminoácidos livres. CA: caracterização da área; AT: aplicação dos tratamentos; MR: maturação de ramos; RLH: redução de lamina hídrica; IF: indução floral; FP: florada plena; CH: fruto tamanho 'chumbinho'.

Entre a CA e 10 DAP houve incremento nos níveis de giberelina para todos os tratamentos em ambos os solos, mas esse aumento não pode ser atribuído ao PBZ, pelo contrário, isso implica dizer que o PBZ ainda não tinha sido translocado totalmente até os locais de síntese de giberelina, e as plantas continuaram a produzi-la.

Vale ressaltar que as plantas têm inúmeros tipos de giberelinas, contudo poucas são bioativas (GAO et al., 2017). As mais ativas são; GA<sub>1</sub>, GA<sub>3</sub>, GA<sub>4</sub> e GA<sub>7</sub>, todas elas compartilham o mesmo caminho na rota biosintética. Primeiramente a GA<sub>36</sub> se converte na GA<sub>4</sub>, esta se transforma em GA<sub>1</sub> ou GA<sub>7</sub>, e por fim a GA<sub>7</sub> dá origem a GA<sub>3</sub> (SPONSEL, 2016).

A biosíntese das giberelinas, acontece em três etapas. Primeiramente há reações de ciclização catalisada nos proplastídios de tecidos meristemáticos da parte aérea da planta, formando o *ent*-caureno. Na segunda etapa o *ent*-caureno é oxidado para ácido *ent*-caurenóico, posteriormente formando a GA<sub>12</sub>-aldeído que é catalisadas por monooxigenases através do citocromo P450. Na última etapa o GA<sub>12</sub>-aldeído é oxidado para GA<sub>12</sub> (TAIZ et al., 2017).

Teoricamente como o PBZ age antes da formação da GA<sub>12</sub> e esta é a primeira giberelina a ser formada, não deveria haver mais formação de nenhum tipo de giberelina, apenas a conversão das já existentes antes da aplicação e translocação do PBZ para os locais de síntese, tendo preferência para a formação de giberelinas ativas. Todavia, Fleet et al. (2003) estudando a regulação de genes da rota biosintética de giberelina, em *Arabidopsis*, verificaram que as plantas têm capacidade de manter a homeostase de giberelinas, gerando maior quantidade de *ent*-caureno para se sobressair ao PBZ, e assim preservar os níveis adequados de giberelinas bioativas.

Segundo Kim et al. (2016) a giberelina é capaz de fazer homeostase quando está sob estresse, através de um mecanismo de feedback (regulam sua própria biosíntese). O processo de auto regulação da giberelina é mediada pela proteína DELLA. Quando a uma redução nos níveis de GA a um aumento nas concentrações da proteína DELLA que agem como repressoras da sinalização GA (MIDDLETON et al., 2012). Por sua vez, o PBZ também é capaz de iniciar o mecanismo de feedback da transdução de sinalização do GA para ativar sua homeostase, devido o gene *GID2* ter expressão parecida com o do gene *DELLA* em resposta ao PBZ (Zhu, et al. 2016).

Adicionalmente, o T2 fez o PBZ ser mais rapidamente translocado para os pontos de síntese de giberelina do que os demais tratamentos, pois estava 16,35; 21,59; 7,99% menor no solo 1 e 16,63; 13,63; 31,63% menor no solo 2 (T1, T3 e T4, respectivamente) aos 10 dias. Provavelmente por se mover mais rapidamente no solo devido as substâncias húmicas (SH), que adsorvem a molécula, sendo esta uma interação

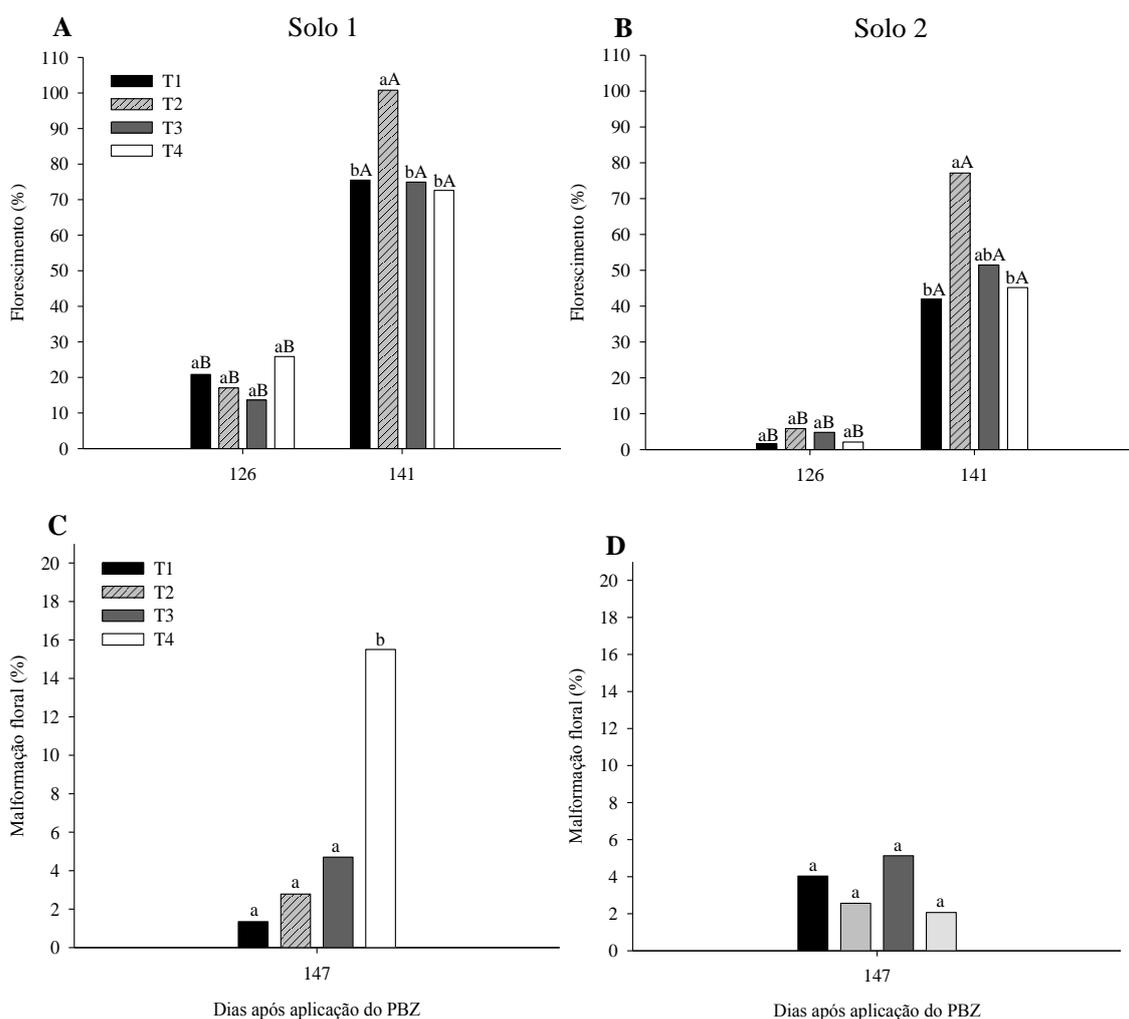
intermolecular reversível, possibilitando se desligarem (MILFONT et al., 2008) para expressar seu efeito na supressão de giberelinas. Esta interação ocorre principalmente com os ácidos fúlvicos (AF), por serem considerados a fração mais bioativa das SH, devido a menor massa molecular, maior superfície específica e densidade de cargas (NARDI et al., 2007).

Ao se aproximar da fase de aplicação dos nitratos para ruptura da gema (indução floral) (90 DAP) os tratamentos estavam em média com 17% de giberelina nas gemas, em ambos os solos, demonstrando a necessidade da planta em reduzir os níveis desse hormônio para o florescimento. Contudo, o declínio das giberelinas para o florescimento não pode ser generalizado, pois Upreti et al. (2013) ressaltam que o decréscimo da GA<sub>1</sub> pode ser necessário para preparação dos botões florais e os decréscimos de GA<sub>3</sub>, o GA<sub>4</sub> e o GA<sub>7</sub> podem agir na iniciação das gemas. Mostrando que há um momento específico para redução de cada tipo de giberelina afim de proporcionar o florescimento mais satisfatório.

Sandip et al. (2015) relatam em mangueira a presença de um promotor florígeno (PF), uma substância produzida nas folhas e translocados para os brotos afim de induzir o florescimento, através da relação com um promotor vegetativo (PV). O PV está correlacionado à giberelina, logo para ocorrer florescimento na mangueira em condições de elevadas temperaturas é necessário aumentar a razão PF/PV nos brotos, pois com o declínio da giberelina o PV também reduz. E ainda, baixa razão PF/PV promove o crescimento vegetativo e os brotos mistos surgem de razões PF/PV intermediárias (PRASAD et al., 2014).

Embora no Solo 1 os tratamentos não tenham diferido muito da testemunha durante a indução floral, é preciso atentar aos tratamentos T3 e T4, que tiveram picos de giberelina em fases anteriores acima de 24% em ambos os solos, enquanto que a testemunha não passou de 23%, esses picos ocasionaram gastos energéticos devido ao crescimento vegetativo, diminuindo a reservas de carboidrato para a floração e posterior produção. Caron et al. (2015) frisam que os carboidratos são importantes fontes energéticas para o crescimento de órgãos e aumento de massa seca, sendo bastantes requeridos para o florescimento (Cruz et al., 2007), por isso é importante reduzir o gasto energético da planta e manter os níveis ótimos de carboidratos para o florescimento.

Aos 126 DAP todos os tratamentos apresentavam o mesmo percentual de florescimento, não havendo efeito significativo, o que revela que não houve retardamento ou antecipação do florescimento (Figura 6). No solo 1 o T2 proporcionou 33,47; 34,49 e; 38,81% a mais de florescimento em relação a T1, T3 e T4 (respectivamente) na florada plena (141 DAP) (Figura 6 A). No solo 2 o T2 obteve 83,98 e 70,74% a mais que T1 e T4 na florada plena (141 DAP) e foi estatisticamente igual ao T3, porém 49,82 % maior (Figura 6 B).



**Figura 6.** Florescimento [solo 1 (A) e solo 2 (B)], malformação floral [solo 1 (C) e solo 2 (D)] de mangueira cv. Keitt em função do uso de ácidos fúlvicos e aminoácido livres. Letras minúsculas comparam os tratamentos em cada data de avaliação separadamente, letras maiúsculas comparam cada tratamento entre as datas de avaliação. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. T1: PBZ + água (testemunha); T2: PBZ + ácidos fúlvicos; T3: PBZ + aminoácidos livres; e T4: PBZ + ácidos fúlvicos + aminoácidos livres.

Wongsrisakulkaew et al. (2017) concluíram que o PBZ pode estimular a floração precoce, reduzir o comprimento e aumentar a porcentagem das panículas de mangueira cv. Namdokmai-sitong, em relação as não tratadas com a molécula.

Outro ponto a se frisar é que o tratamento que obteve maior taxa de florescimento (T2), teve maior acúmulo de carboidratos durante a maturação de ramos e aumento dos níveis de giberelina próximo à floração plena no solo 1 em relação aos demais tratamentos (Figura 6), demonstrando que algum tipo de giberelina seja necessária para o desenvolvimento das panículas. Singh (2009) avaliando o efeito da pulverização de diferentes concentrações de GA<sub>3</sub> na diferenciação do botão floral, obtiveram o triplo de frutos por panículas, numa concentração de 75 ppm em relação às plantas não tratadas.

Em complemento, Prasad et al. (2014) observaram que a redução dos açúcares solúveis e não redutores no florescimento está correlacionado com o acréscimo da porcentagem de floração, o que reforça os efeitos positivos no florescimento registrado para o T2.

O uso de PBZ inibe a atividade da amilase, importante para a hidrólise do amido, com isso aumenta-se o teor do amido juntamente com açúcares solúveis; (UPRETI et al., 2014). Glicose e frutose são os mais importantes no floema, pois são responsáveis por estimular o desenvolvimento das inflorescências em videiras (LEBON et al., 2008).

Apesar dos ótimos resultados para o florescimento com AF (T2), o mesmo não ocorreu com o AF combinado com aminoácido (T4), provavelmente por ter ocorrido ligações dos grupos polares de ambos, resultando em menor complexação com o PBZ, visto que os aminoácidos e AF podem interagir e formar complexos entre eles.

Grupamentos de SH carregados negativamente reagem com compostos orgânicos contendo N em coordenação tetraédrica, essas estruturas com N quaternário ocorrem em compostos alifáticos (presente em aminoácidos), aromáticos e heterocíclicos, os dois últimos mais comuns em pesticidas, como os triazóis (grupo do PBZ) (CANELLAS et al., 2008; SPOSITO, 2008), e ainda, aminoácidos básicos contendo dois grupamentos NH<sub>2</sub> protonáveis, podem reagir com as SH por meio de troca catiônica (BALDOTTO; BALDOTTO, 2014).

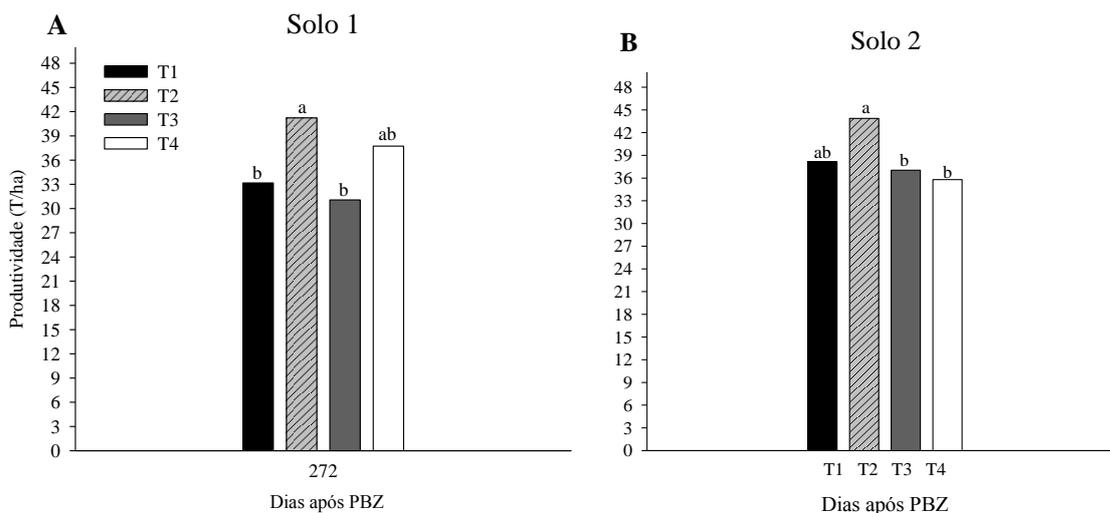
Adicionalmente, o T4 resultou na maior incidência de malformação floral (MF) no solo 1, todavia, isso não se repetiu no solo 2 (Figura 6 C-D). A malformação

floral (MF) caracteriza-se pelo encurtamento dos eixos das inflorescências, maior número de ramificações, o triplo de flores, porém menores e distorcidas, e em sua maioria masculinas (PLOETZ; FREEMAN, 2009).

A relação do PBZ com a MF é devido aos seus efeitos na maturação fisiológica dos brotos, pois com o declínio precoce da giberelina os brotos atingem maturidade mais rápido e em maior quantidade, enquanto que, em plantas não tratadas há maior quantidade de brotos imaturos, e se esses brotos florescerem aumenta-se a porcentagem de panículas malformadas (NAFEES et al., 2010).

Coelho et al. (2014) estudaram diferentes doses de PBZ na cv. 'Tommy Atkins' de quatro anos de idade em seu primeiro ciclo produtivo (sem nenhuma aplicação anterior de PBZ), obtiveram aumento de 76 % com a menor dose (0,5 g m<sup>-1</sup> linear de copa) e 88 % com a maior (1,5 g m<sup>-1</sup> linear de copa) na porcentagem de floração, enquanto a testemunha teve apenas 35 %. Porém, o PBZ também aumentou a compactação das panículas proporcionalmente à dose aplicada, o que pode facilitar a incidência de pragas e doenças. Contudo, isso não ocorreu no presente experimento, evidenciando que a dosagem utilizada estava dentro dos limites adequados para a cultura.

Plantas submetidas ao T2 produziram na área 1 aproximadamente 8 e 10 t ha<sup>-1</sup> a mais que T1 e T3, respectivamente; na área 2 a superioridade do T2 sobre os demais tratamentos foi de 6, 7 e 8 t ha<sup>-1</sup> a mais em relação a T1, T3 e T4, respectivamente (Figura 6). Esse resultado é consequência do efeito positivo dos ácidos fúlvicos associado ao PBZ como um todo na planta, inibindo a biossíntese de giberelina (Figura 5), estimulando outros fatores relevantes ao sistema produtivo da mangueira como manutenção dos níveis de aminoácidos (Figura 4 A-B), proteínas (Figura 4 C-D) e carboidratos (Figura 4 E-F), destacando-se que as plantas do T2 apresentaram redução drástica dos teores de carboidratos solúveis totais (Figura 4 E-F) e de aminoácidos (Figura 4 A-B) entre o pleno florescimento e a frutificação (fruto tamanho 'chumbinho'), demonstrando uso desses compostos no desenvolvimento reprodutivo das plantas, o que culminou em maior produtividade (Figura 7). Esses resultados também foram constatado por Souza et al. (2013), de los Santos-Villalobos et al. (2013), Prasad et al. (2014), Moreira et al. (2014) e Oliveira et al., (2018).



**Figura 7.** Produtividade de manga cv. Keitt em função do uso de ácidos fúlvicos e aminoácidos livres. Solo 1 (A) e solo 2 (B). Letras diferentes comparam a produtividade de cada tratamento. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. T1: PBZ + água (testemunha); T2: PBZ + ácidos fúlvicos; T3: PBZ + aminoácidos livres; e T4: PBZ + ácidos fúlvicos + aminoácidos livres.

Apesar das plantas presentes no solo 1 terem maior florescimento que as plantas do solo 2, isso não se repetiu para a produtividade total, pois o manejo permaneceu o mesmo para as plantas, independentemente do percentual de florescimento, sendo que, teoricamente, um maior florescimento requer mais insumos para atender o potencial de fixação e desenvolvimento de frutos, assim, no solo 2 houve um uso mais eficiente de fotoassimilados para a carga floral estabelecida, principalmente para T2 que tinha 77,14% de florescimento e produziu  $43,88 \text{ t ha}^{-1}$  (Figura 7).

Isto ocorreu pela relação proporcional entre a quantidade de brotações reprodutivas e a competição por carboidratos e nutrientes, e vice-versa, por causa da relação fonte e dreno (CASTRO NETO; MENEZES, 2009). Visto que o nível de carboidratos das plantas no solo 1 estava maior que as plantas no solo 2, durante a fase de maturação de ramos (Figura 4 E-F), o que proporcionou maior percentual de floração nas mangueiras neste solo, entretanto nas fases seguintes o nível de carboidratos estava muito equivalente em ambos os solos, favorecendo a frutificação e desenvolvimento de frutos para a menor carga floral das plantas do solo 2 (Figura 6).

As produtividades alcançadas pelos tratamentos foram superiores às do Brasil ( $17,0 \text{ t ha}^{-1}$ ), do Nordeste ( $17,4 \text{ t ha}^{-1}$ ) e Pernambuco ( $22,2 \text{ t ha}^{-1}$ ) (IBGE, 2017), e dos principais países produtores do mundo; China ( $8,2 \text{ t ha}^{-1}$ ), Índia ( $7,3 \text{ t ha}^{-1}$ ) e México ( $8,9 \text{ t ha}^{-1}$ ) (FAO, 2017).

Simões et al. (2018) obtiveram resultados similares, com 39 t ha<sup>-1</sup> de manga Keitt no mesmo sistema de irrigação e região do presente estudo, com as plantas dispostas em um espaçamento 8x5 m e 9 anos de idade. Enquanto que Helaly aproximadamente 42 t ha<sup>-1</sup> de manga cv. Keitt em Suez (cidade portuária no nordeste do Egito) de clima semiárido sub tropical, utilizando águas residuais tratadas de indústrias.

Em contrapartida, Levin et al. (2018) testando níveis de irrigação em diferentes estádios fenológicos de mangueira cv. Keitt com 20 anos de idade e espaçamento de 5x3 m, em Israel, obtiveram em média 84,5 t ha<sup>-1</sup>, entre as safras de 2010 e 2014, com uma irrigação média total de 1067 mm após a colheita.

#### 4.4. CONCLUSÃO

Há efeito da adição de ácidos fúlvicos, aminoácidos livres ou ambos na potencialização do efeito do PBZ em mangueira ‘Keitt’;

A adição de ácidos fúlvicos ao PBZ melhora sua eficiência, inibindo a biossíntese de giberelina no momento mais apropriado, mantendo os níveis de carboidratos, proteínas e aminoácidos, uniformizando a floração e, conseqüentemente, proporcionando maior produtividade em mangueira cv. Keitt, e, portanto, pode ser recomendado para manejo da cultura em condições semiáridas tropicais.

#### 4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A. S. de; MEDINA, V. D.; MOUCO, M. A. do C. Indução floral. In: GENUÍ, P. J. de C.; PINTO, A. C. de Q. (Ed.). **A cultura da mangueira**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 259-276, 2002.

BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, p. 856-881, 2014.

BENKEBLIA, N.; ONODERA, S.; SHIOMI, N. Variation in 1-fructoexohydrolase (1-FEH) and 1-kestose-hydrolysing (1-KH) activities and fructo-oligosaccharide (FOS) status in onion bulbs. Influence of temperature and storage time. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Hoboken, v.85, p. 227-234, 2005.

BORAS, M.; ZIDAN, R.; HALLOUM, W. Effect of amino acids on growth, production and quality of tomato in plastic greenhouse. **Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Biological Sciences Series**, Latakia, v. 33, n. 5, p. 229-238, 2011.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.

CANELLAS, L. P. et al. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 196, p. 15-27, 2015.

CANELLAS, L. P. et al. Reações da matéria orgânica In: SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. de O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ªed. Porto Alegre, Metrópole. p. 45-63, 2008.

CANELLAS, L. P.; ZANDONADI, D. B.; MÉDICI, L. O.; PERES, L. E. P.; OLIVARES, F. L.; FAÇANHA, A. R. Bioatividade de substâncias húmicas: ação sobre desenvolvimento e metabolismo das plantas. In: CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. (Ed.). **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Campos dos Goytacazes: CCTA, UENF, p. 224-243. 2005.

CARNEIRO, M. A. et al. Soil salinity and yield of mango fertigated with potassium sources. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 21, n. 5, p. 310-316, 2017.

CARON, V. C.; GRAÇAS, J. P.; CASTRO, P. R. de C. **Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos**. Piracicaba: ESALQ/USP, Divisão de Biblioteca, p. 46, 2015.

CASTRO, P. R. de C. E; CARVALHO, M. E. A. **Aminoácidos e suas aplicações na agricultura**. Piracicaba: ESALQ/USP, Divisão de Biblioteca, p. 58, 2014.

CAVALCANTE, Í. H. L. et al. A new approach to induce mango shoot maturation in Brazilian semi-arid environment. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, Quedlinburg, v. 91, p. 281-286, 2018.

CHEN, Y.; CLAPP, C. E.; MAGEN, H. Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: The role of organo-iron complexes. **Soil Science and Plant Nutrition**, Abingdon, v. 50, n. 7, p. 1089-1095, 2004.

COELHO, E. F.; BATISTA, L. S.; ALVES, A. A. C. Flowering and fruit set of mango in different doses of paclobutrazol (PBZ). **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 19, p. 1117, 2014.

COUTINHO, G.; COSTA, I. J. S.; PIO, L. A. S. **Indução floral em mangueira (*Mangifera indica* L.)**. Lavras, n. 101, p. 1-22, 2016. (Boletim Técnico).

CRUZ, M. do C. M. da et al. Teores de carboidratos em limeiras ácidas 'Tahiti' tratadas com paclobutrazol. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 29, n. 2, p. 222-227, 2007.

DAVENPORT, T. L. Reproductive physiology. In.: LITZ, R. (Ed.). **The mango: Botany, production and uses**. 2ª ed., CABI: Cambridge, p. 97-169, 2009.

CASTRO NETO, M. T. de; MENEZES, A. C. P. Ecofisiologia e floração da mangueira e crescimento do fruto de manga. In: CARVALHO et al. C. A. L. de. **Tópicos em Ciências Agrárias**, UFRB: Cruz das Almas, v. 1, p. 90-103, 2009.

DE LOS SANTOS-VILLALOBOS, S. et al. Growth promotion and flowering induction in mango (*Mangifera indica* L. cv “Ataulfo”) trees by burkholderia and rhizobium inoculation: morphometric, biochemical, and molecular events. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 32, n. 3, p. 615-627, 2013.

DE SOUZA, L. C. et al. Compostos nitrogenados, proteínas e aminoácidos em milho sob diferentes níveis de silício e deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 13, n. 2, p. 117-128, 2014.

DONAGEMA, G. K. et al. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E)**, 2ª ed., Rio de Janeiro, p. 230, 2011.

DUBOIS, M. et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 28, n. 3, p. 350-356, 1956.

FAOSTAT. Food. Agriculture organization of the United Nations. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/Q/QC/E>> Acesso em: 08 de jun. 2018.

FILGUEIRAS, H. A. C. et al. Colheita e manuseio pós-colheita. In: FILGUEIRAS, H.A.C; CUNHA, A. (Org). **Frutas do Brasil: Manga Pós-colheita**. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, p. 22-25, 2000.

FLEET, C. M. et al. Overexpression of AtCPS and AtKS in Arabidopsis confers increased ent-kaurene production but no increase in bioactive gibberellins. **Plant Physiology**, Rockville, v. 132, n. 2, p. 830-839, 2003.

FREEMAN, S. et al. New insights into mango malformation disease epidemiology lead to a new integrated management strategy for subtropical environments. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 98, n. 11, p. 1456-1466, 2014.

GAO, X.; ZHANG, Y.; HE, Z.; FU, X. Giberelinas. In: LI, J.; LI, C.; SMITH, S. M. (Ed.). **Hormone Metabolism and Signaling in Plants**. Academic Press: Amsterdam, p. 107-160, 2017.

GONZÁLEZ, M. et al. Influence of organic amendments on soil quality potential indicators in an urban horticultural system. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 101, n. 22, p. 8897-8901, 2010.

HELALY, M. N. et al. Impact of treated wastewater and salicylic acid on physiological performance, malformation and yield of two mango cultivars. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 233, p. 159-177, 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola, 2017. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613#resultado/>>. Acesso em: 03 Dez. 2018.

KAUR, A.; KAUR, N. Mango malformation: A fungal disease, physiological disorder or malady of stress. **Journal of Applied and Natural Science**, Haridwar, v. 10, n. 1, p. 403-409, 2018.

KISHOR, A. et al. Paclobutrazol minimises the effects of salt stress in mango (*Mangifera indica* L.). **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Abingdon, v. 84, n. 4, p. 459-465, 2009.

KOWALCZYK, K.; ZIELONY, T.; GAJEWSKI, M. Effect of Aminoplant and Asahi on yield and quality of lettuce grown on rockwool. In: DĄBROWSKI, Z. T. (Ed.). **Biostimulators in Modern Agriculture: Vegetable Crops**, Warsaw, p. 35-43, 2008.

LEBON, G. et al. Sugars and flowering in the grapevine (*Vitis vinifera* L.). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 59, n. 10, p. 2565-2578, 2008.

LEVIN, A. G. et al. The response of field-grown mango (cv. Keitt) trees to regulated deficit irrigation at three phenological stages. **Irrigation Science**, Heidelberg, v. 36, n. 1, p. 25-35, 2018.

LOPES, P. R. C.; HAJI, F. N. P.; MOREIRA, A. N.; MATTOS, M. A. A. **Normas técnicas e documentos de acompanhamento da Produção Integrada de Manga**. Embrapa Semi-Árido: Petrolina, p. 72, 2003.

MACÍAS, J. M. et al. Development of a rapid and efficient liquid chromatography method for determination of Gibberellin A4 in plant tissue, with solid phase extraction for purification and quantification. **American Journal of Plant Sciences**, Wuhan, v. 5, n. 5, p. 573, 2014.

MALAVOLTA, E; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2ª ed. Potafos: Piracicaba, p. 319, 1997.

MARSCHNER, P.; RENGEL, Z. Nutrient availability in soils. In: MARSCHNER P. (Ed.). **Mineral nutrition of higher plants**. 3ª ed., London, p. 315-330, 2012.

MEDEIROS, D. B. et al. Physiological and biochemical responses to drought stress in Barbados cherry. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 24, n. 3, p. 181-192, 2012.

MILFONT, M. L. et al. Transporte do paclobutrazol em colunas de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.5, p. 2165-2175, 2008.

MOREIRA, R. A. et al. Carboidratos foliares durante a floração e os estádios iniciais de crescimento de frutinhos em tangerineira 'Ponkan'. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 1, p. 34-39, 2014.

MOUCO, M. A. do C.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D.; SILVA, G. J. N. Plant regulators on vegetative growth of Tommy Atkins mangoes. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 992, p. 187-192, 2013.

NAFEES, M. et al. Paclobutrazol soil drenching suppresses vegetative growth, reduces malformation, and increases production in mango. **International Journal of Fruit Science**, Philadelphia, v. 10, n. 4, p. 431-440, 2010.

NARDI, S. et al. Relationship between molecular characteristics of soil humic fractions and glycolytic pathway and krebs cycle in maize seedlings. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 39, n. 12, p. 3138-3146, 2007.

OLDONI, F. C. A. et al. Boron fertilizing management on fruit production and quality of mango cv. Palmer in semiarid. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 40, n. 3, 2018.

OLIVEIRA, G. P. et al. Teores de carboidratos em mangueira Ubá submetida a diferentes doses de paclobutrazol. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 41, n. 3, p. 171-180, 2018.

OSUNA-ENCISO, T. et al. Promotores de floración y concentración de almidón y aminoácidos en yemas de mango. **Chapingo Serie Horticultura**, Chapingo, v. 7, n. 2, p. 209-223, 2001.

PLOETZ, R. C.; FREEMAN, S. Foliar, floral and soilborne diseases. In.: LITZ, R. (Ed.). **The mango: botany, production and uses**. 2<sup>a</sup> ed., CABI: Cambridge, p. 232-302, 2009.

PRASAD, S. S. et al. Studies on changes in carbohydrate metabolism in regular bearing and “Off” season bearing cultivars of mango (*Mangifera indica* L.) during flowering. **International journal of fruit science**, Philadelphia, v. 14, n. 4, p. 437-459, 2014.

SANDIP, M. et al. Physiology of flowering—the case of mango. **International Journal of Applied Research**, Bangladesh, v. 1, n. 11, p. 1008-1012, 2015.

SHARMA, D.; AWASTHI, M. D. Uptake of soil applied paclobutrazol in mango (*Mangifera indica* L.) and its persistence in fruit and soil. **Chemosphere**, Amsterdam. v. 60, n. 2, p. 164-169, 2005.

SILVA, D. J. et al. Nutrição e Adubação. In: GENU, P. J. de C.; PINTO, C. A. de Q. (Ed.). **A cultura da mangueira**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 191-222, 2002.

SILVA, P. T. de S. et al. Análise de paclobutrazol em solos de áreas cultivadas com diferentes variedades de mangueira no Vale do São Francisco empregando QuEcHers e CLAE. **Scientia Plena**, São Cristóvão, v. 13, n. 9, 2017.

SIMÕES, W. L. et al. Produção e respostas fisiológicas da mangueira cv. Keitt sob diferentes sistemas de irrigação no Submédio do São Francisco. **Irriga**, Botucatu, v. 23, n. 1, p. 34-43, 2018.

SINGH, S. K., SHARMA, R. R. Endogenous phytohormones after pruning in three mango cultivars planted under high density. **Indian Journal of Plant Physiology**, New Delhi, v. 14, n. 4, p. 392-396, 2009.

SOUZA, A. R. E. **Produção e qualidade de cachos da videira cv. Crimson Seedless sob ação de biorreguladores**. Juazeiro, Universidade do Estado da Bahia, 2013. 92p. (Dissertação de mestrado).

SOUZA, E. R. et al. Variação de carboidratos em folhas da videira 'Itália' submetida a diferentes de níveis de desfolhas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 4, p. 535-539, 2013.

SPONSEL, V. M. Signal achievements in gibberellin research: the second half-century. In: HEDDEN, P.; THOMAS, S. G. (Ed.). **Annual Plant Reviews, the gibberellins**. John Wiley & Sons: New Jersey, v. 49, p. 1-36, 2016.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. 2ª ed. Oxford university press: New York, p. 329, 2008.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª ed. Artmed Editora: Porto Alegre, p. 858, 2017.

TREVISAN, S. et al. Humic substances induce lateral root formation and expression of the early auxin-responsive IAA19 gene and DR5 synthetic element in Arabidopsis. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 12, n. 4, p. 604-614, 2010.

UPRETI, K. K. et al. Hormonal changes in response to paclobutrazol induced early flowering in mango cv. Totapuri. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 150, p. 414-418, 2013.

UPRETI, K. K. et al. Paclobutrazol induced changes in carbohydrates and some associated enzymes during floral initiation in mango (*Mangifera indica* L.) cv. Totapuri. **Indian Journal of Plant Physiology**, New Delhi, v. 19, n. 4, p. 317-323, 2014.

VAZ, F. et al. Biodegradation of paclobutrazol - a plant growth regulator used in irrigated mango orchard soil. In: CHAMY, R.; ROSENKRANZ, F.; SOLER, L. (Ed.). **Biodegradation and Bioremediation of Polluted Systems-New Advances and Technologies**. IntechOpen: London, p. 85-107, 2015.

VAZ, F. L.; MOUCO, M. A. do C.; GOUVEIA, E. R. Validação de método de determinação de paclobutrazol em solos por HPLC-UV. **Analytica**, São Paulo, v. 68, p. 52-54, 2014.

WONGSRISAKULKAEW, Y. et al. Effect of paclobutrazol concentrations and time of foliar application on flowering of 'Namdokmai-sitong' mango. **International Journal of Geomate**, Tsu, v. 12, n. 30, p. 41-45, 2017.

YEMM, E. W.; COCKING, E. C. The determination of amino-acids with ninhydrin. **Analyst**, London, v. 80, p. 209-214, 1955.

ZANDONADI, D. B. et al. Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 1, p. 14-20, 2014.

MIDDLETON, A. M. et al. Mathematical modeling elucidates the role of transcriptional feedback in gibberellin signaling. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 109, n. 19, p. 7571-7576, 2012.

KIM, Y. et al. Exogenous application of abscisic acid regulates endogenous gibberellins homeostasis and enhances resistance of oriental melon (*Cucumis melo* var. L.) against low temperature. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 207, p. 41-47, 2016.

ZHU, X. et al. Global transcriptome profiling analysis of inhibitory effects of paclobutrazol on leaf growth in lily (*Lilium Longiflorum*-Asiatic Hybrid). **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 7, p. 491, 2016.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O uso de ácidos fúlvicos juntamente com paclobutrazol para cessar o crescimento vegetativo e induzir o florescimento mostrou-se uma ferramenta promissora no sistema produtivo de mangueira cv. Keitt em condições semiáridas. Porém, mais pesquisas devem ser realizadas para aprimorar a sua aplicação, principalmente a combinação de diferentes dosagens de ambos, bem como, repetir pesquisas por mais ciclos, vistos as variações climáticas de um ciclo que podem interferir no efeito.

Outro aspecto importante a se estudar são os efeitos adicionais das substâncias húmicas que podem ter aumentado absorção de outros nutrientes necessários para o desenvolvimento vegetal.