



Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Agrárias
Campus Regional Montes Claros



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AGRONOMIA

**CRESCIMENTO DE ABACAXIZEIROS SUBMETIDOS A
CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO**

ANDRESSA LAÍS CALDEIRA DE SOUZA

Montes Claros-MG

2021

CRESCIMENTO DE ABACAXIZEIROS SUBMETIDOS A CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da
Universidade Federal de Minas Gerais, como
requisito parcial, para a obtenção do título de
Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof.^o Rodinei Facco Pegoraro

Andressa Laís Caldeira de Souza, **CRESCIMENTO DE ABACAXIZEIROS
SUBMETIDOS A CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO.**

Aprovada pela banca examinadora constituída por:

Professor Dr. Regynaldo Arruda Sampaio

Professor Dr. Victor Martins Maia



Prof.º Rodinei Facco Pegoraro – Orientador ICA/UFMG

Montes Claros, 18 de Março de 2021.

Aos meus amados pais Vanilton e Karla,

Por todo amor e apoio sem fim,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre estar presente em minha vida em todos os momentos, por me dar força, persistência e saúde para concluir essa importante fase da minha vida.

Agradeço imensamente aos meus pais Vanilton e Karla Patrícia, por todo apoio e paciência. Não tenho palavras para descrever minha gratidão e o enorme amor que sinto por vocês, sem dúvida alguma essa conquista não teria sido alcançada sem todo o apoio e suporte que me deram. Bem como meu irmão Andrey Santiago.

A minha avó Maria José e as minhas tias Karine e Kátia, por sempre me motivarem e por todo carinho.

Ao meu querido noivo Thalles, por todo o amor, paciência, compreensão e companheirismo.

Aos meus colegas e amigos Thaís, Eulina, Matheus e Élcio, pela amizade. De fato a caminhada se torna mais leve quando nos cercamos de bons amigos.

Ao meu orientador Rodinei Facco Pegoraro, por todo suporte, conhecimento transmitido e paciência. Como também à banca por ter se disponibilizado a me avaliar e contribuir com meu trabalho.

Deixo meu agradecimento a todos aqueles que estiveram no meu caminho e me ajudaram de alguma forma, com uma palavra de carinho, uma crítica, um gesto amigo, uma ajuda, um conselho ou apenas tempo.

Muito obrigada!

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

(Arthur Schopenhauer)

RESUMO

O abacaxizeiro (*Ananas comosus* var. *comosus*) é uma espécie cultivada que apresenta relevante tolerância a presença do alumínio. Sendo assim, objetivou-se avaliar o efeito de concentrações distintas de alumínio no crescimento e acúmulo de macronutrientes em cultivares de abacaxizeiro. O estudo foi realizado em vasos plásticos contendo quatro litros de solução nutritiva, utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 2 x 5, consistindo de duas cultivares de abacaxi (IAC Fantástico e Pérola) e cinco concentrações de alumínio (0; 21,6; 43,2; 64,8 e 86,4 mg L⁻¹ de Al³⁺ por planta). As características avaliadas foram: comprimento das raízes, folha D e folhas, índice foliar de clorofila e acúmulo de macronutrientes, por um período de 80 dias. A cv. IAC Fantástico teve crescimento estimulado até a concentração de 50 mg L⁻¹ de Al³⁺ por planta e apresentou redução no teor e acúmulo de P e K na folha com o aumento das concentrações de Al³⁺ na solução nutritiva. Em contrapartida, a cv. Pérola teve o crescimento estimulado até a maior concentração de Al³⁺ na solução nutritiva (86,4 mg L⁻¹ de Al³⁺ por planta) e não apresentou alteração nos teores de N, P, Ca e Mg com o aumento das concentrações do alumínio. Com isso, observou-se que as cultivares de abacaxizeiro possuem distintas capacidades de tolerância ao Al³⁺, em solução nutritiva, com destaque para a cv. Pérola por apresentar maior crescimento e menor interferência do Al³⁺ na absorção de macronutrientes.

Palavras-chave: *Ananas comosus* var. *comosus*, Alumínio, Macronutrientes, Solução Nutritiva

ABSTRACT

The pineapple (*Ananas comosus* var. *comosus*) is a cultivated species that has a relevant tolerance to the presence of aluminum. Thus, the objective was to evaluate the effect of different concentrations of aluminum on the growth and accumulation of macronutrients in pineapple cultivars. The study was carried out in plastic pots containing four liters of nutrient solution, using a completely randomized design with four replications. The treatments were distributed in a 2 x 5 factorial scheme, consisting of two pineapple cultivars (IAC Fantástico and Pérola) and five aluminum concentrations (0; 21.6; 43.2; 64.8 and 86.4 mg L⁻¹ of Al³⁺ per plant). The evaluated characteristics were: length of the roots, leaf D and leaves, leaf index of chlorophyll and accumulation of macronutrients, for a period of 80 days. The cv. Fantastic IAC had growth stimulated to a concentration of 50 mg L⁻¹ of Al³⁺ per plant and showed a reduction in the content and accumulation of P and K in the leaf with the increase of the concentrations of Al³⁺ in the nutrient solution. In contrast, cv. Pérola had its growth stimulated to the highest concentration of Al³⁺ in the nutrient solution (86.4 mg L⁻¹ of Al³⁺ per plant) and showed no change in the levels of N, P, Ca and Mg with increasing aluminum concentrations. With that, it was observed that the pineapple cultivars have different tolerance capacities to Al³⁺, in nutrient solution, with emphasis on cv. Pérola due to its higher growth and less interference from Al³⁺ in the absorption of macronutrients.

Keyword: *Ananas comosus* var. *comosus*, Aluminum, Macronutrients, Nutritional Solution.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição das folhas do abacaxizeiro, de acordo com a idade (A- mais velha, F- mais jovem).....	7
Figura 2 - Planta de abacaxi cultivar Pérola, com suas mudas convencionais devidamente identificadas em: rebentão, filhote rebentão, filhotes e coroa.....	8
Figura 3 - Imagens ilustrativa dos frutos de abacaxi ‘Pérola’ (A e C) e ‘IAC Fantástico’(B e D).....	10
Figura 4- Ácidos orgânicos dos ápices radiculares de plantas estressadas por Al ³⁺ . Representação das células típicas das extremidades radiculares, exsudando os ácidos orgânicos induzidos por Al ³⁺	12
Figura 5. Características de crescimento do abacaxizeiro ‘ICA Fantástico’ durante 64 dias de cultivo em solução nutritiva com doses de Al ³⁺	18
Figura 6. Características de crescimento do abacaxizeiro ‘Pérola’ durante 64 dias de cultivo em solução nutritiva com doses de Al ³⁺	19
Figura 7 Características de produção (número de folhas, comprimento de folha D, Altura de planta, diâmetro do caule-DIA, comprimento de raiz, matéria seca de folhas-MSF, raízes-MSR, total-MST e relação de produção de matéria seca entre raízes e folhas) obtidas 64 dias após a aplicação das concentrações de Al ³⁺	21
Figura 8. Teor de macronutrientes das folhas e raízes nos abacaxizeiros ‘ICA Fantástico’ (F) e ‘Pérola’ (P) após 64 dias de cultivo em solução nutritiva com concentrações de Al ³⁺	22

Figura 9. Acúmulos de macronutrientes das folhas e raízes nos abacaxizeiros ‘ICA Fantástico’ (F) e ‘Pérola’ (P) após 63 dias de cultivo em solução nutritiva com concentrações de Al^{3+}	23
Gráfico 1- Production share of pineapples by region	4
Gráfico 2- Production of pineapples: top 10 producers	4
Gráfico 3- Principais estados produtores de abacaxi no Brasil em 2018.....	6
Tabela 1- Produção brasileira de abacaxi em 2018.....	5

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	-	Alumínio
Al ³⁺	-	Alumínio fitotóxico
AO	-	Ácidos orgânicos
ATP	-	Adenosina trifosfato
B	-	Boro
Ca	-	Cálcio
cm	-	Centímetros
Cu	-	Cobre
cv	-	Cultivar
DNA	-	Ácido desoxirribonucleico
Fe	-	Ferro
h	-	Horas
K	-	Potássio
Mg	-	Magnésio
mg	-	Miligramas
mm	-	Milímetros
Mn	-	Manganês
N	-	Nitrogênio
P	-	Fósforo
p	-	Probabilidade
RNA	-	Ácido ribonucleico
EROS	-	Reactive Oxygen Species
S	-	Enxofre
Zn	-	Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. JUSTIFICATIVA	3
3. PROBLEMA	3
4. HIPÓTESE	3
5. OBJETIVO	3
5.1 Objetivo Geral	3
5.2 Objetivo Específico	3
6. REFERÊNCIAL TEÓRICO	3
6.1 Importância econômica e social do abacaxi	3
6.2 Características morfológicas do abacaxizeiro	6
6.2.1. Características das cultivares Pérola e IAC Fantástico.....	9
.....	Erro! Indicador não definido.
6.3 Tolerância do abacaxizeiro a toxidez do Al ³⁺	11
6.4 Utilização do Al ³⁺ como elemento benéfico em cultivos	13
7 MATERIAL E MÉTODOS	14
7.1 Local da área de estudo.....	14
7.2 Material vegetativo	15
7.3 Condução do estudo e avaliações experimentais.....	15
8. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
8.1. Crescimento de abacaxizeiros submetidos a concentrações de Al ³⁺	16
8.2. Produção de fitomassa e absorção de macronutrientes em abacaxizeiros submetidos a concentrações de Al ³⁺ L	19
9. CONCLUSÕES	24
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

1. INTRODUÇÃO

O abacaxizeiro (*Ananas comosus var comosus*) pertence à família Bromeliaceae, constituída por aproximadamente 58 gêneros e 3.199 espécies (CRESTANI et al. 2010). É uma cultura tropical originária das Américas (AMARAL et al., 2018). A disseminação do fruto para o continente Europeu, Asiático e Africano ocorreu no período das grandes navegações europeias, tornando, assim, o abacaxi mundialmente conhecido e apreciado (CTENAS & QUAST, 2000).

O abacaxi se destaca no mercado mundial por ser uma das 11 frutas mais consumidas, sendo extensivamente cultivada nos países de clima tropical. O continente Asiático é o maior produtor mundial, responsável por quase metade da produção global. Deixando as Américas e o continente Africano, em segunda e terceira colocação no ranking de produção, respectivamente (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2018).

No Brasil, a cultura é amplamente disseminada em todo o território nacional, com área plantada de 71.553 hectares e produção de 1.766.986 toneladas, em 2018. O estado do Pará, Paraíba e Minas Gerais se destacam como os maiores produtores nacionais (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2018). O fruto além de ser consumido na forma *in natura*, é amplamente utilizado na indústria, na fabricação de diversos produtos, tais como sucos, xarope, licor, doces e outros (DANIEL et al., 2019). O mercado interno absorve praticamente 99% da produção nacional, sendo a variedade ‘Pérola’ a mais produzida e consumida no país. Pouco mais que 1% da produção é destinada a exportação, sendo a cultivar Smooth Cayenne a mais apreciada pelos países importadores (DOSSA; FUCHS, 2017).

O abacaxizeiro é considerado uma cultura rústica, capaz de suportar condições climáticas adversas, apresenta baixa necessidade hídrica, mas é responsivo em produtividade quando cultivado em sistemas irrigados (SILVA et al., 2015). Também pode ser cultivado em solos de baixa fertilidade, mas apresenta resposta considerável em crescimento quando submetido ao manejo intensivo (TAVARES et al., 2015).

O abacaxizeiro apresenta ciclo de 12 a 30 meses, sendo o tempo de produção diretamente influenciado pelas práticas culturais empregadas e pelas condições ambientais de cultivo (CRESTANI et al. 2010). A propagação comercial do abacaxizeiro é vegetativa e

realizada por meio de mudas formadas nas brotações laterais da planta, denominadas rebentão, filhote de rebentão e filhote (MATOS et al., 2018).

O abacaxizeiro se destaca por apresentar relevante tolerância ao alumínio, sendo umas das poucas culturas agrícolas adaptadas aos solos ácidos e que apresenta melhor desenvolvimento e produtividade em solos com pH entre 4,5 e 5,5 (REINHARDT, 2015). A fitotoxicidade do alumínio é considerada fator limitante a produção agrícola mundial, no entanto algumas espécies vegetais cultivadas podem apresentar genes com tolerância e mecanismos de defesa a presença do alumínio no solo ou no interior da célula vegetal (SANTOS et al., 2019), tais fenômenos geram custo energético para as plantas, mas podem estimular a produção de hormônios de crescimento, o que pode favorecer o desenvolvimento da produção do abacaxizeiro.

No entanto, o efeito das diferentes concentrações de alumínio na absorção dos nutrientes e no desenvolvimento da planta, diferencia-se entre as cultivares do abacaxizeiro, isso ocorre, uma vez que, os genes de resistência e os mecanismos de defesa presentes nas cultivares são distintos, implicando em variações no grau de tolerância à presença do metal (LIN; CHEN, 2011). Entretanto, essa distinta tolerância ao alumínio entre as cultivares do abacaxizeiro, ainda deve ser melhor estudada.

Dois principais mecanismos de resistência têm sido avaliados: o mecanismo de exclusão e o mecanismo de tolerância. O mecanismo de exclusão consiste em impedir a entrada do alumínio no ápice da raiz, principal ponto de toxicidade. Já o mecanismo de tolerância, consiste em sequestrar o alumínio tóxico presente na planta e desintoxicá-lo em compartimentos (SANTOS et al., 2019).

Apesar do alumínio não ser um elemento essencial para as plantas, em baixas concentrações na solução do solo, pode estimular o aumento da produção de fitomassa no abacaxizeiro, em resposta a alterações fisiológicas, hormonais e nutricionais. Além disso, a presença do alumínio pode aumentar a disponibilidade de fósforo na solução do solo, por estimular a produção e liberação de ácidos orgânicos capazes de dissociar complexos P-Al e P-Fe (MUHAMMAD et al., 2019; HARTWIG et al., 2007).

A contribuição do Al^{3+} para o crescimento de cultivares de abacaxizeiro é considerada incipiente e pouco estudada. Mediante ao exposto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o efeito das doses de Al^{3+} no crescimento e absorção de macronutrientes em duas cultivares de abacaxizeiro.

2. JUSTIFICATIVA

A maioria das plantas cultivadas são consideravelmente sensíveis a solos ácidos, uma vez que, nessas condições, o Al^{3+} causa toxidez as plantas. A presença desse metal compromete de forma expressiva o desenvolvimento e produtividade das lavouras. Sendo primordial a adoção de práticas de correção do solo para o aumento da produção agrícola. No entanto, no cultivo de abacaxizeiro, a presença do Al^{3+} pode ser tolerada e/ou estimular o crescimento vegetal de algumas cultivares, em decorrência de possíveis alterações no metabolismo vegetal. O que justifica a elaboração de novos estudos científicos a fim de identificar alterações no crescimento de novas cultivares de abacaxizeiro causada pela presença de Al^{3+} em solução nutritiva.

3. PROBLEMA

A potencial tolerância das cultivares, Pérola e IAC Fantástico, a presença de Al^{3+} e/ou seu estímulo ao crescimento vegetal, é pouco conhecida na literatura.

4. HIPÓTESE

A presença de Al^{3+} em menores concentrações na solução nutritiva estimula o crescimento do abacaxizeiro. A cultivar Pérola apresenta maior tolerância ao Al^{3+} em comparação a cultivar IAC Fantástico.

5. OBJETIVO

5.1 Objetivo Geral

Avaliar a tolerância e o crescimento das cultivares Pérola e IAC Fantástico a diferentes doses de alumínio.

5.2 Objetivo Específico

Avaliar o crescimento do abacaxizeiro em resposta às doses crescentes de alumínio em solução nutritiva.

Avaliar a absorção de nutrientes e o índice foliar de clorofila em duas cultivares de abacaxizeiro em resposta às doses crescentes de alumínio em solução nutritiva.

6. REFERÊNCIAL TEÓRICO

6.1 Importância econômica e social do abacaxi

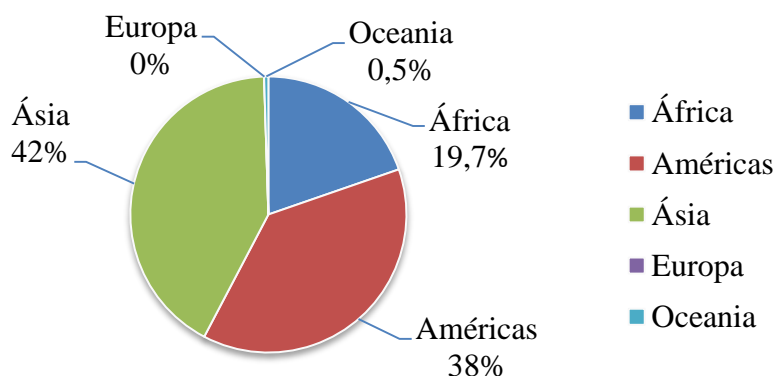
O abacaxi (*Ananas comosus var comosus*) é um fruto tropical originário das Américas, com expressivo potencial econômico, sendo consumido tanto na forma *in natura*, como industrializado. Possui aparência exuberante, sabor e aroma que atraem consumidores de várias regiões do mundo (CRESTANI et al., 2010). A disseminação do fruto pelas Américas se deu pelo intercâmbio realizado entre tribos indígenas e se tornou mundialmente

conhecido no período das grandes navegações europeias, pelas quais propiciou a propagação do fruto nos países Europeus, Asiáticos e Africanos. (CTENAS & QUAST, 2000).

O abacaxi, atualmente, é produzido extensivamente nos países de clima tropical, sendo umas das 11 frutas mais produzidas no mundo. Porém, apenas 10 países são responsáveis por 74% da produção global, dentre eles se destacam a Tailândia, o Brasil e as Filipinas, responsáveis por 40% dessa produção (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2018).

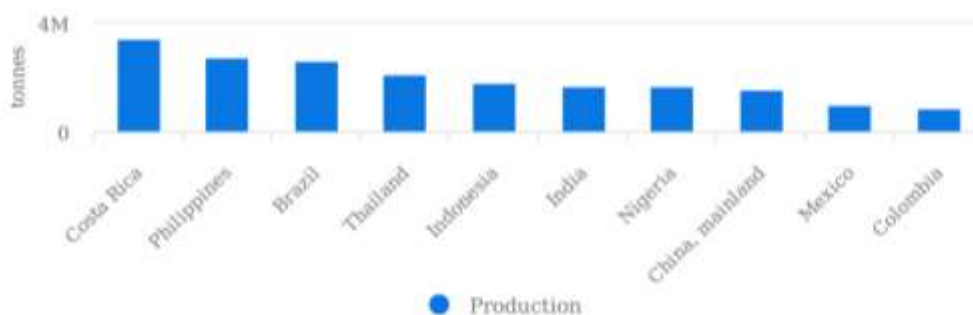
A principal região produtora é o continente Asiático, responsável por 41,8% da produção (Gráfico 1), já as Américas ficam em segunda colocação com 38%, seguido pela África com 19,7%, a Oceania e a Europa não apresentam representatividade no mercado, apresentando apenas 0,5% da produção. (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2018). De acordo com a mesma fonte, os países que apresentam as maiores produções de abacaxi são Costa Rica, Filipinas, Brasil e Tailândia (Gráfico 2).

Gráfico 1: Quota de produção de abacaxis por região 2018.



Fonte: FAOSTAT, 2020.

Gráfico 2: Produção de abacaxi: 10 maiores produtores.



Fonte: FAOSTAT, 2020.

O abacaxi é uma das principais frutas produzida no Brasil, sendo amplamente cultivado em todo território brasileiro, pelo qual se caracteriza por apresentar condições climáticas ideais para o desenvolvimento da espécie. Em 2018, o país apresentou uma área de 71.553 hectares de plantio, totalizando 1.766.986 toneladas de frutos produzidos. A produção nacional é destinada essencialmente ao mercado interno, apresentando irrelevante participação no mercado internacional (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2018).

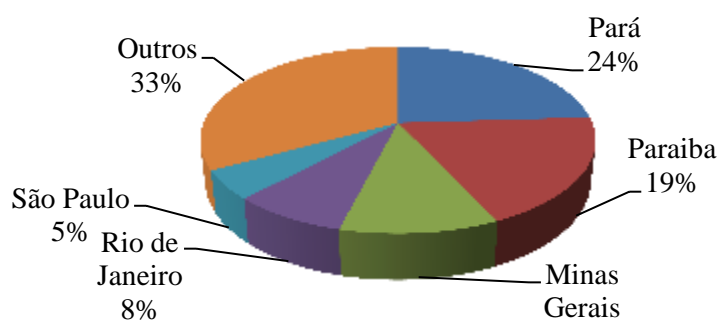
As principais regiões fisiográficas produtoras de abacaxi no Brasil são o Norte, Nordeste e Sudeste (Tabela 1). O Pará é o Estado que mais se destaca na produção de abacaxi na região Norte, enquanto no nordeste é a Paraíba e no sudeste é Minas Gerais (Gráfico 3). Esses mesmos estados brasileiros correspondem, respectivamente, aos maiores produtores nacionais. A região Norte é responsável por 34,1% da produção nacional, a região Nordeste em segunda colocação com 33,6%, seguido pelo Sudeste com 26,9% (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2018).

Tabela 1: Produção brasileira de abacaxi em 2018.

Região fisiográfica	Área Colhida (ha)	Quantidade Produzida (mil frutos)	Rendimento Médio (frutos/ha)	Participação na produção (%)
Norte	27.605	601.988	21.807	34,1
Nordeste	22.931	593.613	25.887	33,6
Sudeste	16.741	475.598	28.409	26,9
Sul	844	20.080	23.791	1,1
Centro-Oeste	3.432	75.707	22.059	4,3
Brasil	71.553	1.766.986	24.695	100,0

Fonte: IBGE, 2018.

Gráfico 3: Principais estados produtores de abacaxi no Brasil em 2018



Fonte: IBGE, 2018.

O abacaxizeiro apresenta ciclo de 12 a 30 meses, sendo o tempo de produção diretamente influenciado pelas práticas culturais empregadas e pelas condições ambientais de cultivo (CRESTANI et al., 2010). A propagação comercial do abacaxizeiro é vegetativa e realizada por meio de mudas formadas nas brotações laterais da planta, denominadas rebentão, filhote de rebentão e filhote (MATOS et al., 2018)

Além de consumida *in natura*, o abacaxi é amplamente utilizado na culinária e na indústria na elaboração de bolos, caldas, sorvetes, doces, como também na produção de sucos, xarope e licor (CRESTANI et al., 2010). O fruto é rico em açúcares solúveis, sais minerais e vitaminas, apresentando percentuais significativos de potássio, ferro, cálcio e magnésio (CUNHA et al., 2019). Como também a presença de bromelina, enzima proteolítica, que auxilia na digestão (FERREIRA et al., 2017).

6.2 Características morfológicas do abacaxizeiro

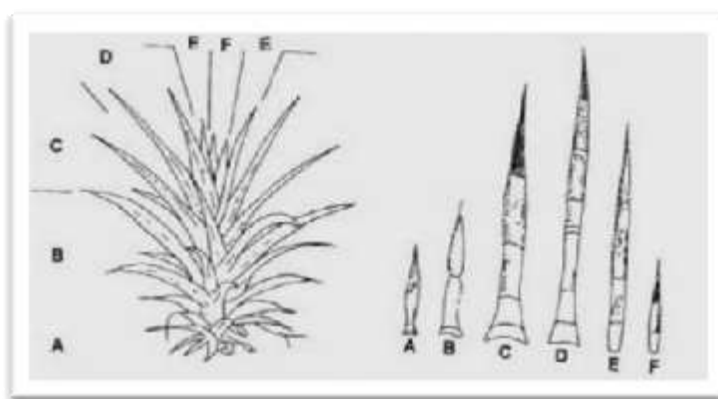
O abacaxizeiro (*Ananas comosus var comosus*) é uma cultura tropical que apresenta melhor desenvolvimento e qualidade de fruto em temperaturas entre 22°C a 32°C (AMARAL et al., 2018), pertence à família Bromeliaceae, constituída por aproximadamente 58 gêneros e 3.199 espécies (VASCONCELLOS et al., 2019) e ao gênero *Ananas*. É uma angiosperma monocotiledônia, herbácea e perene com ciclo de vida entre 12 e 30 meses (CRESTANI et al. 2010).

As variedades comerciais, amplamente cultivadas em todo o país, tais como a Pérola, Smooth Cayenne, Jupi e MD-2, são da espécie *Ananas comosus var. comosus* (CUNHA, 2007). A planta adulta apresenta altura média entre 1,0 a 1,2 m, com diâmetro variando entre 1,0 a 1,5 m (REINHARDT et al., 2000). É composta por um talo curto e grosso,

rodeado de folhas, estreitas, compridas e resistentes, dispostas em rosetas, no sentido ascendente, podem ser espinhosas ou lisas, a depender da variedade (RICCE et al., 2014).

A classificação das folhas é feita segundo a sua posição na planta, em A, B, C, D, E e F (Figura 1), partindo da folha mais externa e velha para a mais interna e nova (REINHARDT et al., 2000). Em relação ao manejo da cultura, a folha D é a de maior importância, uma vez que corresponde a folha adulta mais jovem e metabolicamente mais ativa, sendo assim, usada para avaliar o crescimento e o estado nutricional da planta (OLIVEIRA et al., 2015).

Figura 1. Distribuição das folhas do abacaxizeiro de acordo com a idade (A- mais velha, F- mais jovem).

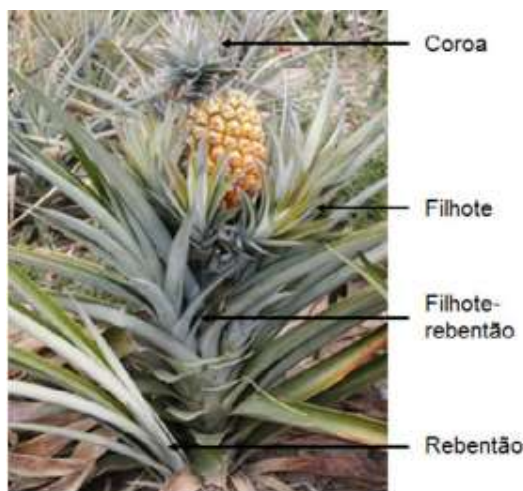


Fonte: REINHARDT et al.,2000.

A inflorescência é constituída por 100 a 200 flores individuais, hermafroditas, trímeras, com ovário ínfero, situadas no ápice do caule. O fruto é composto, classificado como sincarpo, formado pela agregação de frutos individuais do tipo baga (REINHARDT et al., 2000; CUNHA, 2009), partenocárpico, com uma coroa de folhas no topo e polpa branca, amarela ou laranja-avermelhada (SILVA; TASSARA, 2001). O abacaxizeiro é um planta auto-estéril, isto é, o desenvolvimento do fruto independe da ocorrência de fecundação (REINHARDT et al., 2006).

A disseminação da cultura se dá por meio da propagação vegetativa. O abacaxizeiro em sua fase reprodutiva, produz quatro tipos de mudas convencionais: rebentão, filhote de rebentão, filhote e coroa (Figura 2). O rebentão é formado por gemas localizadas no caule da planta, o filhote de rebentão é formado por gemas localizadas na região de inserção do pedúnculo no caule. O filhote, por gemas localizadas abaixo da base do fruto e a coroa por gemas localizadas no ápice do fruto (MATOS et al., 2018).

Figura 2. Planta de abacaxi cultivar Pérola, com suas mudas convencionais devidamente identificadas em: rebentão, filhote rebentão, filhotes e coroa. Foto Davi Theodoro Junghans, 2018.



O ciclo do abacaxizeiro se divide em três fases: Fase vegetativa, que corresponde ao intervalo de tempo entre o dia de plantio e o início da floração, com duração de 8 a 12 meses. A fase reprodutiva ou de formação do fruto, pela qual tem duração definida para cada região do país, podendo variar entre 5 e 6 meses. Por fim, a fase propagativa, que corresponde à formação de mudas (filhotes e rebentões), com duração variável de 4 a 10 meses para mudas do tipo filhote, cuja formação inicia no período de pré-floração, e de 2 a 6 meses para mudas do tipo rebentão. O primeiro ciclo completo da cultura, nas regiões tropicais do país, dura de 13 a 18 meses (REINHARDT et al., 2000).

Apesar de ser normalmente cultivado em solos de baixa fertilidade, o abacaxizeiro é uma planta exigente em nutrientes, com necessidade de adubação em plantios com fins comerciais (TAVARES et al., 2015). A fertilização equilibrada é determinante no aumento da produtividade, na qualidade e no peso do fruto. Entretanto, a exigência nutricional da cultura varia de acordo com suas fases de desenvolvimento, como também de acordo com a variedade cultivada (PEGORARO et al., 2014). De forma geral o macronutriente de maior importância para o abacaxizeiro é o Potássio (K), seguido do Nitrogênio (N), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S) e Fósforo (P). Entre os micronutrientes a sequência de absorção é Manganês (Mn), Ferro (Fe), Zinco (Zn), Boro (B) e Cobre (Cu). (MATOS et al., 2015).

O potássio exerce acentuada influência na composição química do abacaxi. A deficiência do mineral ocasiona redução no crescimento da planta, na produção, como também na qualidade do fruto. Porém, quando aplicado em taxas elevadas, afeta de forma negativa o crescimento e a produção da cultura (AULAR et al., 2014). O nitrogênio é o

segundo nutriente mais demandando pela cultura, e o incremento do seu teor nas folhas, aumenta o peso médio dos frutos, porém, a aplicação da dose total do nutriente após a indução floral, ocasiona a formação de frutos pequenos, menor índice de maturação e maior acidez (OLIVEIRA et al., 2015).

Apesar de ser uma cultura de baixa necessidade hídrica, o abacaxizeiro apresenta melhor desenvolvimento e produtividade quando não submetido a estresse hídrico, sendo a demanda de água variável de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura. Embora seja resistente a seca, o cultivo comercial sem o uso de irrigação tende a ser economicamente viável em ambiente com média pluviométrica anual acima de 1.000 mm (SILVA et al., 2015).

O abacaxizeiro apresenta melhor desenvolvimento em solos com pH entre 4,5 e 5,5, sendo umas das poucas culturas agrícolas adaptadas a solos ácidos. Porém, é extremamente sensível ao encharcamento do solo e à umidade excessiva, sendo os solos de textura média (15% a 35% de argila e mais de 15% de areia) com boa aeração, boa estrutura e sem compactação, os mais indicados para o cultivo da cultura (REINHARDT, 2015).

Como já mencionado anteriormente, o abacaxizeiro é uma cultura de clima tropical, com ótimo desenvolvimento e qualidade de frutos em temperaturas entre 22 a 32°C, e amplitude térmica diária de 8 a 14°C. Temperaturas acima de 32°C reduzem o crescimento da planta e podem queimar o fruto, já as temperaturas abaixo de 22°C, além de reduzir o crescimento da planta, podem ocasionar a floração precoce. A cultura também é exigente em luminosidade, sendo a insolação anual ótima de 2.500 a 3.000 h, ou seja, 6,8 a 8,2 h de luz solar por dia (SILVA et al., 2015).

6.2.1. Características das cultivares Pérola e IAC Fantástico

O abacaxi ‘Pérola’, também conhecido como ‘Pernambuco’ ou ‘Branco de Pernambuco’, é a variedade mais cultivada no país. A planta possui porte ereto, com altura entre 50 a 70 cm, apresenta folhas verde-escuras, compridas, rodeadas por espinhos, distribuídos de forma uniforme nas bordas, o que dificulta o manejo e os tratamentos culturais das lavouras. Produz elevada quantidade de mudas filhotes e poucas do tipo rebentão; o fruto possui forma cônica; coroa grande; casca amarelada, quando maduro; polpa branca (Figura 3), pouco ácida (Brix médio de 14°), com características organolépticas agradáveis ao paladar. A variedade é suscetível à fusariose (*Fusarium subglutinans*) e tolerante à murcha associada à cochonilha (*Dysmicoccus brevipes*) (CABRAL, 2003; RAMALHO et al., 2009).

O abacaxi ‘IAC Fantástico’ é um híbrido desenvolvido pelo Instituto Agrônomo de Campinas-IAC, proveniente do cruzamento entre as variedades Tapiracanga (como mãe) e

a variedade Smooth Cayenne (como pai). A cultivar foi lançada no mercado em 2010 e o principal objetivo do melhoramento foi obter um híbrido com maior resistência a fusariose, principal doença da cultura no Brasil. O ‘IAC Fantástico’ possui folhas verde-escuras, levemente arroxeadas, com espinhos apenas na extremidade da borda foliar. O fruto possui tamanho mediano a grande, casca amarela a alaranjada, quando maduro, a polpa é amarela (Figura 3), doce (Brix médio de 16°), saborosa, excelente para o consumo *in natura*. A planta é vigorosa e resistente a fusariose (*Fusarium gutiforme*) (IAC, 2010).

Figura 3. Imagens ilustrativas dos frutos de abacaxi ‘Pérola’ (A e C) e ‘IAC Fantástico’ (B e D).



Fonte: Embrapa Mandioca e fruticultura, 2015.



Fonte: MF Rural, 2010.



Fonte: Instituto Agrônômico de Campinas-IAC, 2010.



Fonte: Instituto Agrônômico de Campinas-IAC, 2010.

6.3. Tolerância do abacaxizeiro a toxidez do Al³⁺

O alumínio (Al) é o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, sendo caracterizado como o principal inibidor do crescimento das plantas em solos ácidos, isso ocorre em condição de pH inferior a 5, condição em que o Al da solução do solo encontra-se na forma iônica Al³⁺, considerada fitotóxica (SANTOS et al., 2019). A toxidez ocasionada pelo alumínio inibe o crescimento das raízes, interfere nas reações enzimáticas, na absorção e transporte de fósforo, cálcio, magnésio e molibdênio (MOTA et al., 2016).

Os solos ácidos estão presentes no mundo inteiro, mas se concentram principalmente nas regiões tropicais e subtropicais, sendo 30 a 40% das terras aráveis constituídas por solos ácidos e aproximadamente 70% das terras cultiváveis são ácidas (MUHAMMAD et al., 2019). A acidificação natural do solo é um processo lento e pode ser intensificada pelas práticas agrícolas relacionadas a adubação, liberação de exsudatos radiculares por plantas cultivadas e mineralização da matéria orgânica (SIECIŃSKA et al., 2019).

A fitotoxicidade do alumínio representa umas das principais limitações para a produção agrícola mundial e, em resposta a essa circunstância, vários estudos estão sendo realizados visando à identificação dos genes ligados a resistência ao alumínio e os mecanismos associados a estes, já presente em algumas culturas. Entretanto, a tolerância a toxidez ocasionada pelo metal, em solos ácidos, difere consideravelmente entre as espécies vegetais (SANTOS et al., 2019). O abacaxizeiro, por sua vez, apresenta considerável tolerância ao alumínio (VAN; MASUDA, 2004). Vale ressaltar que as cultivares do abacaxizeiro apresentam distintas tolerâncias e mecanismos de resistência (LIN; CHEN, 2011).

Dois principais mecanismos de resistência têm sido avaliados: o mecanismo de exclusão e o mecanismo de tolerância. O mecanismo de exclusão consiste em impedir a entrada do alumínio no ápice da raiz, principal ponto de toxicidade. Já o mecanismo de tolerância, consiste em sequestrar o alumínio tóxico presente na planta e desintoxicá-lo em compartimentos (SANTOS et al., 2019).

Os mecanismos de exclusão impedem que o alumínio atravesse a membrana plasmática e entre no simplasto, por meio de ácidos orgânicos específicos, tais como o malato, citrato e oxalato, pelos quais tem sua produção ativada e intensificada com a presença do alumínio (Figura 4). O contínuo processo de exsudação de ácidos orgânicos ocasiona acúmulo significativo do ácido na camada superficial do ápice radicular, capaz de quelatizar e

desintoxicar uma fração significativa do metal na rizosfera, impedindo, assim, a entrada do Al^{3+} na raiz. A quelatização atua como uma barreira de proteção sempre que novas regiões ácidas no solo são encontradas pelas raízes em crescimento (KOCHIAN et al., 2015).

Entretanto, algumas espécies de plantas permitem a absorção do alumínio pelas raízes, sendo capazes de tolerar altas concentrações do metal em seus tecidos ou por se desintoxicarem do mesmo após sua entrada na célula, por serem capazes de sequestrar e transportar o Al^{3+} para o vacúolo e neutralizá-lo, por meio de ligações entre os ácidos orgânicos e o metal, formando compostos não-tóxicos (HARTWIG et al., 2007). Contudo, a maior parte das pesquisas têm enfoque no mecanismo de exclusão do alumínio, baseado na exsudação de ácidos orgânicos (OA) pelo ápice das raízes (KOCHIAN et al., 2015).

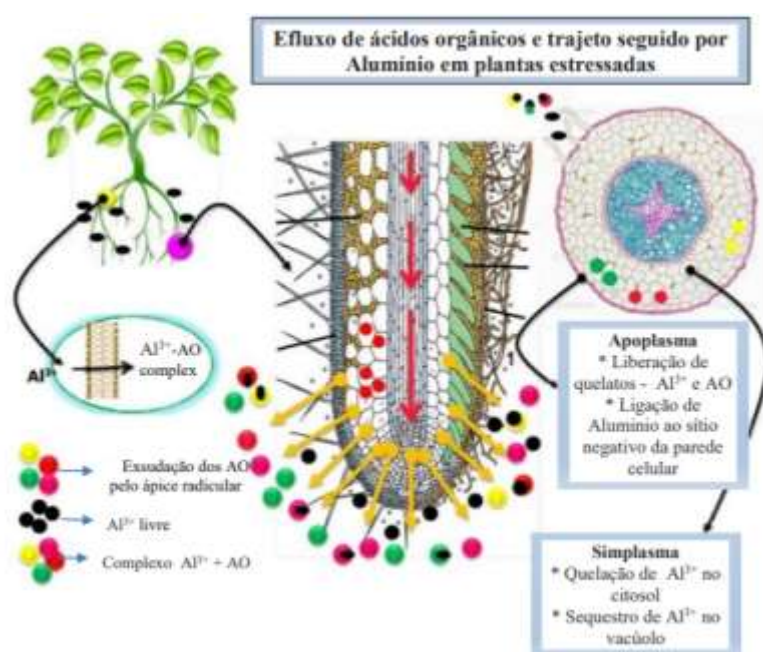


Figura 4. Ácidos orgânicos dos ápices radiculares de plantas estressadas por Al^{3+} . Representação das células típicas das extremidades radiculares, exsudando os ácidos orgânicos induzidos por Al^{3+} . Adaptado de SINGH (2017).

Os mecanismos fisiológicos que conferem tolerância à toxidez de alumínio nas plantas são associados a uma série de genes e podem variar entre espécies e cultivares. Os genes que conferem tolerância ao metal pertencem principalmente a duas famílias: os MATE (extrusão de multídrogas e compostos tóxicos), pelos quais são capazes de codificar transportadores e excretar uma gama diversidade de metabólitos e xenobióticos e ao ALMT (transportadores de malato ativados pelo Al^{3+}) responsáveis pelo transporte de malato pelo vacúolo (KOCHIAN et al., 2015).

Chen e Lin (2010), em seus estudos, relataram que a presença do alumínio estimula o alongamento das raízes das cultivares resistentes do abacaxizeiro, devido a alterações metabólicas na produção de proteínas no ápice das raízes. As proteínas detectadas eram intimamente associadas com a via da glicólise e ao ciclo do ácido tricarbóxico. Isso ocorre, uma vez que, em altas concentrações de Al^{3+} , as raízes precisam de mais energia (ATP) e ácidos orgânicos para manter a morfologia celular e a quelatção do alumínio.

A presença do Al^{3+} também aumenta a permeabilidade da membrana plasmática das células radiculares de abacaxizeiros adaptados, favorecendo a absorção de macronutrientes como o Ca, K e Mg. O aumento da absorção de tais nutrientes, sob condições de estresse ocasionado pelo alumínio, é considerado um mecanismo de resistência, como forma de reduzir os impactos fitotóxicos do Al^{3+} , uma vez que, o Ca está amplamente ligado a parede celular e ao exterior da superfície da membrana plasmática, favorecendo ligações intermoleculares que desempenham papel crucial na estabilidade e na integridade da membrana (LIN, 2010).

Além disso, estudos com espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), detectaram na parede celular das células do ápice radicular do abacaxizeiro, compostos de grupos funcionais, como grupos carboxílicos (-COOH) e fenólicos (-OH), que ao se dissociarem, aumentam a presença de cargas negativas capazes de formarem ligações com o Al^{3+} e aumentar a sua fitotoxidez. Entretanto, a quantidade e o grupo funcional dos compostos se diferenciam entre cultivares de abacaxizeiro, influenciando, assim, na capacidade de adsorção de Al^{3+} no ápice da raiz e gerando diferentes níveis de resistência ao alumínio (LIN; CHEN, 2013).

Desse modo, quanto maior a quantidade de grupos funcionais, como carboxílico, fenólico, aminas, carboxilas e sulfidrilas, na parede celular do ápice da raiz, maior será a adsorção radicular do metal e conseqüentemente, maior será o dano. Com isso, cultivares mais resistentes do abacaxizeiro apresentam menor quantidade e grupos funcionais na parede celular das células radiculares apicais (LIN; CHEN, 2013).

6.4. Utilização do Al^{3+} como elemento benéfico em cultivos

Embora o alumínio não seja considerado elemento essencial para espécies vegetais, em baixas concentrações o metal pode estimular o crescimento de algumas plantas. MUHAMMAD et al. (2019) relatou o estímulo que o Al^{3+} ocasiona na *Melastoma malabathricum* L, planta lenhosa de ambiente tropical e capaz de acumular Al^{3+} . A presença

do alumínio estimula o acúmulo de matéria seca, absorção de nutrientes, como também o número de raízes finas, metabolicamente ativas, na planta.

Além da *Melastoma malabathricum L.*, o autor também relata os benefícios do alumínio em culturas de cereais, citrus e gramíneas, que têm crescimento estimulado com baixas concentrações do metal, ocorrendo também alongamento das raízes. Alguns estudos recentes também observaram que a presença do Al^{+3} influencia positivamente a cultura do arroz (Famoso et al., 2011) e do milho (Wang et al., 2015).

O Al^{+3} em baixas concentrações apresenta benefícios no crescimento, pois aumenta a solubilidade e a disponibilidade do ferro, pelo aumento da acidez interna da planta. Esse fenômeno também favorece o deslocamento do Fe dos sítios eletronegativos da parede celular e a absorção do fósforo pelas raízes (FERREIRA et al., 2006).

O ferro é um elemento essencial para as plantas, mas alta concentração do elemento se torna prejudicial, pois gera espécies reativas de oxigênio (EROS), de forma excessiva, que pode ocasionar anormalidade nas funções das células, como inibição da membrana celular, ATPase e peroxidação lipídica. Nessas condições, a presença do alumínio é benéfica, pois estimula a liberação de ácidos orgânicos que desintoxica o Fe^{3+} , formando complexos de Fe-AO na rizosfera ou dentro das células. Além disso, o Al^{3+} nas raízes pode diminuir a negatividade da superfície celular, reduzindo a captação de Fe tóxico, aumentando assim, a solubilidade e disponibilidade do ferro (MUHAMMAD et al. 2019).

A presença de Al^{3+} na solução do solo pode estimular a liberação dos AO (malato, citrato e oxalato), que atuam na fitodisponibilidade do fósforo, ou seja, são capazes de dissociar os complexos P-Al e P-Fe, formando ligações estáveis com o Al e o Fe e liberando o P para a solução do solo (HARTWIG et al., 2007), deixando-o disponível para planta.

7. MATERIAL E MÉTODOS

7.1. Local da área de estudo

O estudo foi realizado no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (ICA-UFMG), situado no município de Montes Claros (16°43'41'' S, 43°51'54'' W), região norte do estado, a 638 metros de altitude. O clima da região é o tropical, com temperatura média de 24,2°, verões chuvosos e invernos secos. Com classificação climática Aw, de acordo com Köppen e Geiger, apresentando maiores e menores temperaturas médias (24,4°C ou 19,8°C) em janeiro e julho, respectivamente.

7.2. Material vegetativo

Foram utilizadas na realização do experimento mudas de abacaxi (*Ananas comosus var comosus*) das cultivares ICA Fantástico, obtidas em cultivos localizados no município de Janaúba, e Pérola, provenientes de cultivos realizados na própria fazenda experimental do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG. Em ambas as cultivares, o tipo de muda utilizada foi do tipo filhote.

7.3. Condução do estudo e avaliações experimentais

O estudo foi realizado em casa de vegetação sob sistema hidropônico. As cultivares IAC Fantástico e Pérola foram submetidas a cinco concentrações de alumínio em solução nutritiva, sendo cada tratamento composto por quatro repetições em delineamento inteiramente casualizado com esquema fatorial 2x5. O primeiro fator constituído pelas cultivares de abacaxi, e o segundo, por cinco concentrações de Al^{3+} (0; 21,6; 43,2; 64,8 e 86,4 mg L⁻¹ em solução nutritiva), na forma de cloreto de alumínio.

O cultivo foi realizado em vasos plásticos com quatro litros de solução nutritiva proposta por Hoagland & Arnon (1950) e uma planta por vaso. A princípio, as mudas de abacaxi foram retiradas do canteiro de multiplicação e passaram pelo processo de aclimatização por um período de 30 dias, em solução nutritiva com pH regulado semanalmente entre 5,5 e 6,0.

Após o período de aclimatização, foi realizada a primeira caracterização das mudas, por meio da mensuração da altura da folha D, diâmetro do talo, comprimento da raiz, peso da planta e a quantificação total do número de folhas. Em seguida, as mudas foram submetidas aos tratamentos com concentrações crescentes de alumínio e controle do pH da solução nutritiva (mantido entre 4,0 e 4,5), para adequada simulação das condições naturais e manutenção da solubilidade do Al^{3+} .

A cada sete dias era realizada a mensuração das raízes, da folha D e das demais folhas, como também, a quantificação do número total dessas e a avaliação do índice de clorofila (índice SPAD), com o auxílio de um clorofilômetro portátil modelo SPAD-502. A solução nutritiva foi substituída a cada 10 dias e a aeração foi mantida de modo ininterrupto pelo uso de sistema com injeção de ar.

Após 80 dias da aplicação dos tratamentos, as plantas foram coletadas, pesadas e particionadas em raízes e folhas para determinação: do número de folhas; comprimento de folha D; altura de planta; diâmetro do caule (DIA); comprimento de raiz. As folhas e raízes foram secas em estufa de circulação forçada a 65°C até atingirem peso constante,

posteriormente foram pesadas para determinação da matéria seca de folhas (MSF); raízes (MSR); total (MST) e relação de produção de matéria seca entre raízes e folhas. Posteriormente as amostras foram moídas em moinho do tipo Wiley, utilizando-se a peneira de 2 mm. O nitrogênio (N) foi determinado pelo método Kjeldahl, para o fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na) foi realizada digestão nítrico perclórica. O P foi obtido por calorimetria, o K e Na por fotometria de emissão de chama, o Ca e Mg, pelo método EDTA.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância ($p \leq 0,05$). Para o fator qualitativo foi utilizado o teste t. Para o fator quantitativo, foi realizada análises de regressão com modelo que melhor explique o efeito biológico. Foi utilizado o software estatístico Sisvar 5.3 (Ferreira, 2011).

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.1. Crescimento de abacaxizeiros submetidos a concentrações de Al^{3+}

Na cultivar ICA Fantástico foi observado efeito quadrático das concentrações de Al^{3+} , onde a máxima produção de clorofila A, B e total foi alcançada nas concentrações de 52,5; 36,6 e 44,0 mg L⁻¹ por planta, respectivamente (Figura 5). Ou seja, até essas concentrações o alumínio apresentou efeito benéfico, a partir das quais o teor clorofila decresceu, indicando a presença de toxidez ao alumínio em concentrações acima de 52 mg para essa cultivar. Segundo Peixoto (2007) o Al^{3+} reduz a biossíntese de clorofila nas folhas das plantas, implicando no menor teor de clorofila e fotossíntese, porém estes fenômenos dependem da espécie, da cultivar, do tempo de exposição e da concentração de Al na solução nutritiva.

As concentrações de Al^{3+} acima de 35,7 e 42,5 mg L⁻¹ por planta também ocasionaram redução no comprimento de raízes e número de folhas, respectivamente (Figura 5), ao longo do tempo de cultivo. Já a folha 'D' apresentou efeito linear negativo, até as maiores concentrações.

O efeito negativo das maiores concentrações de Al^{3+} (maior que 52 mg L⁻¹) no índice de clorofila e demais características para a cultivar ICA Fantástico (Figura 5) pode ter ocorrido pela redução da atividade metabólica da planta e pela presença de injúrias no sistema radicular, reduzindo o crescimento. Beckmann (1954) observou pela primeira vez em trigo e outros cereais, sintomas de amarelecimento e de redução de crescimento de planta, sintoma que denominou de "crestamento". A toxidez de Al^{3+} pode causar deficiência generalizada de nutrientes essenciais as plantas e provocar distúrbios no metabolismo, evidenciados no

decréscimo do teor de proteínas, clorose nas folhas além de outras anormalidades. (Miguel et al., 2010).

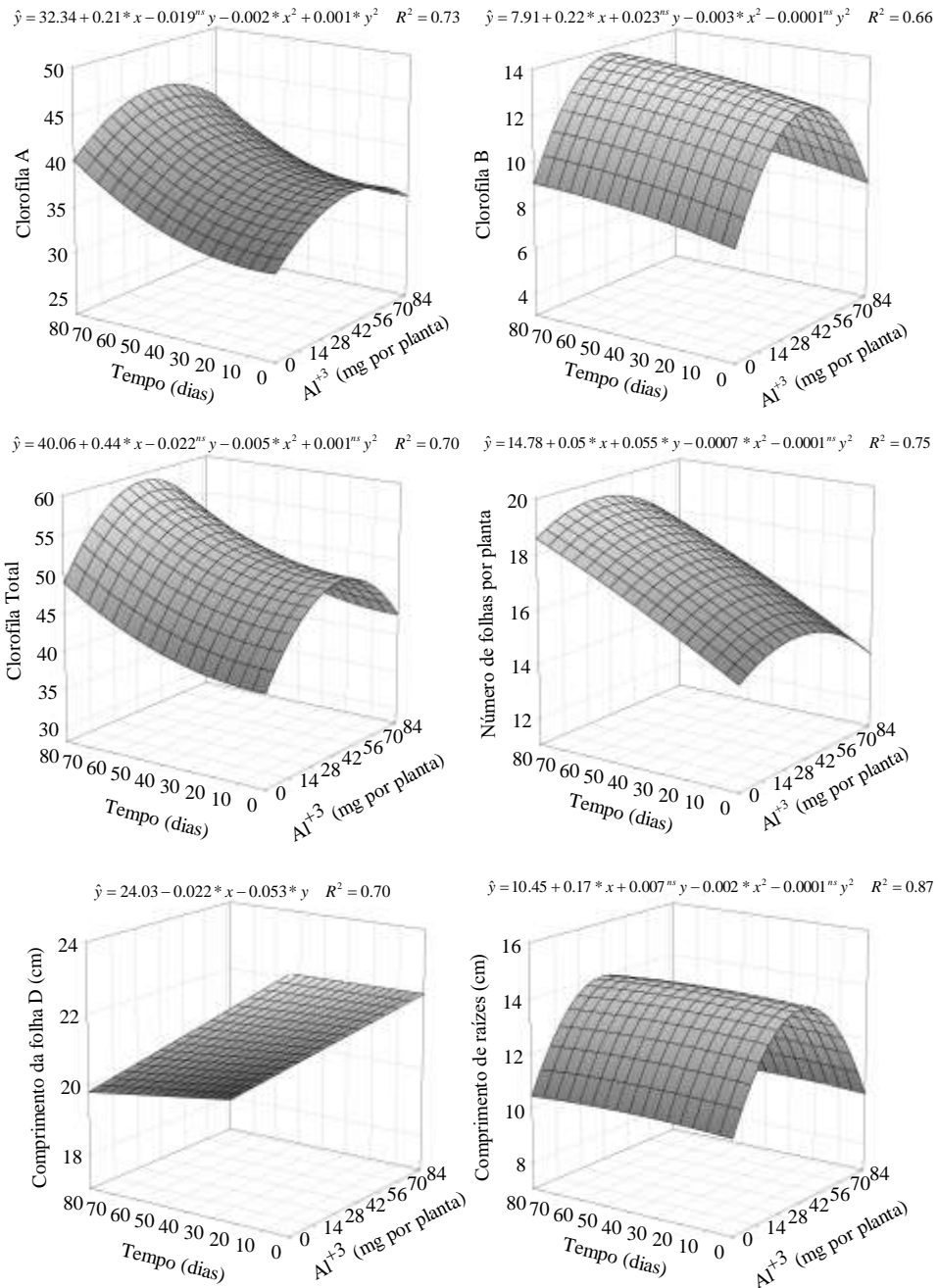


Figura 5. Características de crescimento do abacaxizeiro ‘ICA Fantástico’ durante 80 dias de cultivo em solução nutritiva com concentrações de Al^{3+} .

No abacaxizeiro cultivar Pérola, as concentrações de Al^{3+} e o tempo de cultivo propiciaram aumento linear nos índices de clorofila (A, B e total), número de folhas e comprimento de folha ‘D’(Figura 6). O comprimento de raízes apresentou crescimento

quadrático, com máximo crescimento na concentração de 82 mg L^{-1} de Al^{3+} por planta, aos 50 dias de cultivo, indicando efeito positivo da presença de Al^{3+} no seu crescimento.

O efeito quadrático observado nas raízes quando expostas a concentrações superiores 82 mg L^{-1} de Al^{3+} ocorre a desintegração dos tecidos da epiderme e de porções externas do córtex nos ápices das raízes, ficando as células enrugadas e em casos de maior gravidade colapsadas. Há também redução no tamanho da coifa e desarranjo do tecido meristemático, além de formação de protoxilema e endoderme em regiões próximas ao ápice radicular com altos teores de lignina (Bittencourt et al. 2019).

Mecanismos de tolerância ao Al^{3+} em diferentes espécies de plantas estão divididos em dois grupos. O primeiro está relacionado a mecanismos de exclusão, com a exsudação de ligantes orgânicos (mucilagem, compostos orgânicos de baixo peso molecular, etc.) pelas raízes e capazes de complexar o Al^{3+} , pelo efluxo do Al^{3+} acumulado nas raízes e pela alteração no pH da rizosfera (BITTENCOURT et al., 2020). No segundo grupo de mecanismos de tolerância ocorre a detoxicação interna, pela fixação do Al^{3+} na parede celular, pela complexação no simplasto via ligantes orgânicos e pelo acúmulo do Al^{3+} no vacúolo (LIN & CHEN, 2019).

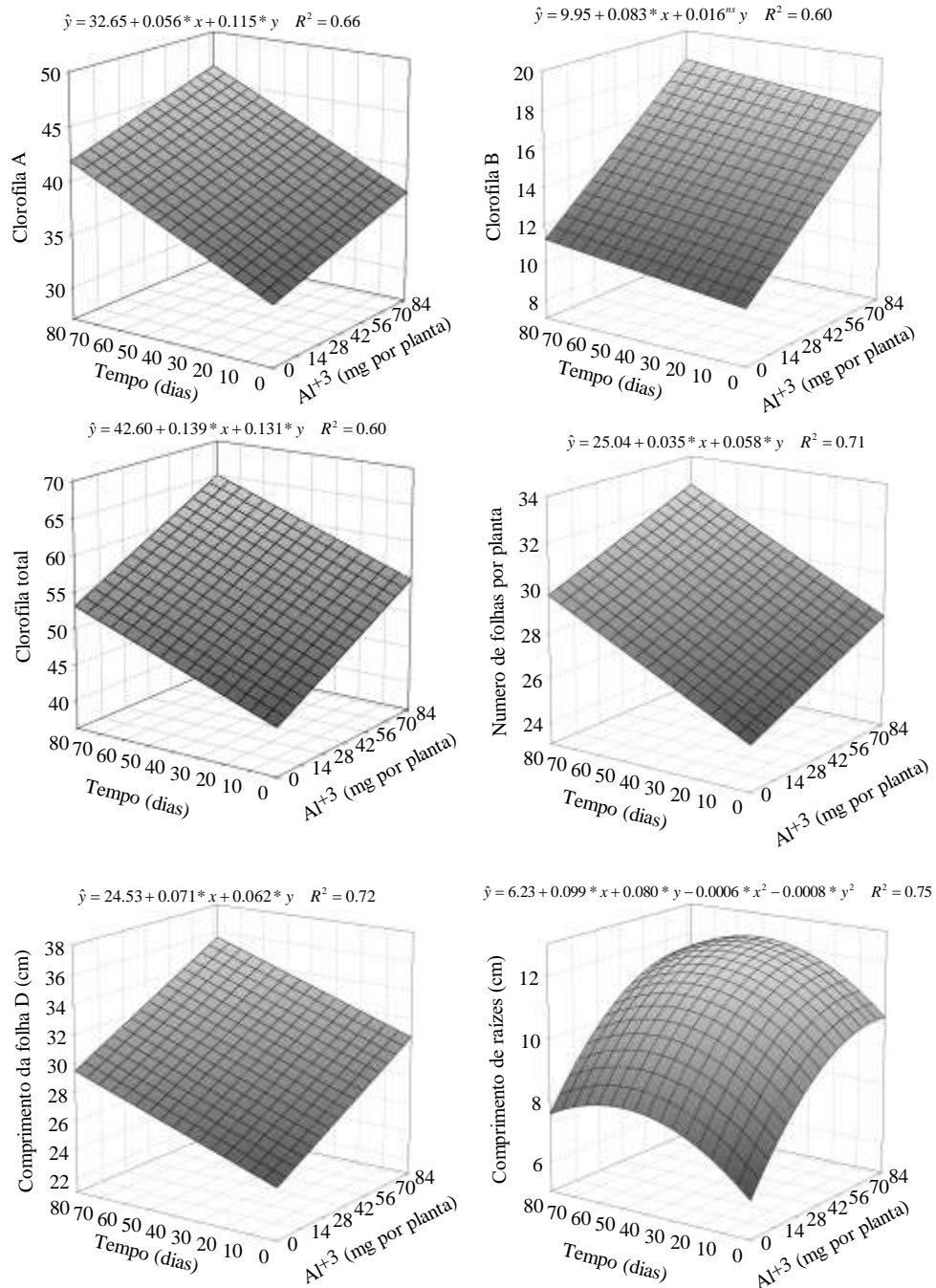


Figura 6. Características de crescimento do abacaxizeiro ‘Pérola’ durante 80 dias de cultivo em solução nutritiva com concentrações de Al^{3+} .

8.2. Produção de fitomassa e absorção de macronutrientes em abacaxizeiros submetidos a concentrações de Al^{3+} L

Após 80 dias de condução experimental obteve-se diferença estatística ($p \leq 0,05$) entre as cultivares e concentrações de Al^{3+} para a maioria das características de produção: comprimento de folha D, altura de folhas (COMP T), diâmetro do caule (DIA), comprimento médio de raízes (CRaiz), matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de raízes e caule (MSR),

matéria seca total (MST), relação entre matéria seca de raízes e folhas (RRF) e macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) avaliados (Figura 7, Figura 8 e Figura 9).

A cultivar Pérola apresentou maior número de folhas (31,3), comprimento da folha “D” (32,5), altura de folhas (42), diâmetro do caule (3,7) e massa seca de folhas (58,1) de raízes (11,3) e total (69,5), em comparação ao abacaxizeiro ‘IAC Fantástico’ (Figura 7). Essas diferenças foram relacionadas às características genéticas próprias de cada cultivar, além disso a cv. Pérola apresentou maior crescimento na presença do alumínio, o que não ocorreu para cv. IAC Fantástico. Isto explica em partes o maior desempenho da cv. Pérola.

Esses resultados sugerem que a cv. Pérola apresenta mecanismos de adaptação à presença de Al^{3+} que podem ter contribuído para a tolerância e ou estímulo do crescimento: Chen e Lin (2010) em seus estudos relataram que a presença do alumínio estimula o alongamento das raízes das cultivares de abacaxizeiros resistentes devido a alterações metabólicas na produção de proteínas, no ápice das raízes, intimamente associadas à via glicólise e do ciclo do ácido tricarboxílico. Isso ocorre em resposta a altas concentrações de Al^{3+} , uma vez que as raízes precisam de mais energia (ATP) e ácidos orgânicos, para manter a morfologia celular e a quelação do alumínio.

Outro mecanismo é o aumento da permeabilidade da membrana em função da presença do Al^{3+} , favorecendo a absorção de macronutrientes como o Ca, K e Mg. O aumento da absorção de tais nutrientes, sob condições de estresse ocasionado pelo alumínio, é considerado um mecanismo de resistência, como forma de reduzir os impactos fitotóxicos do Al^{3+} , uma vez que, o Ca está amplamente ligado a parede celular e ao exterior da superfície da membrana plasmática, favorecendo ligações intermoleculares que desempenham papel crucial na estabilidade e na integridade da membrana (LIN, 2010).

Nesse contexto, ao final do período de avaliação, as concentrações de Al^{3+} utilizadas aumentaram o comprimento da folha D, altura das plantas e o comprimento de raízes de modo linear ou quadrático na cultivar ‘Pérola’ (Figura 7). Enquanto, na cultivar IAC Fantástico, a tolerância ou estímulo causado pela presença de Al^{3+} ocorreu somente em concentrações intermediárias (44 mg L^{-1} por planta) para clorofila B e comprimento de raízes. As demais características estudadas não apresentaram efeito fitotóxico do Al^{3+} para ambas cultivares.

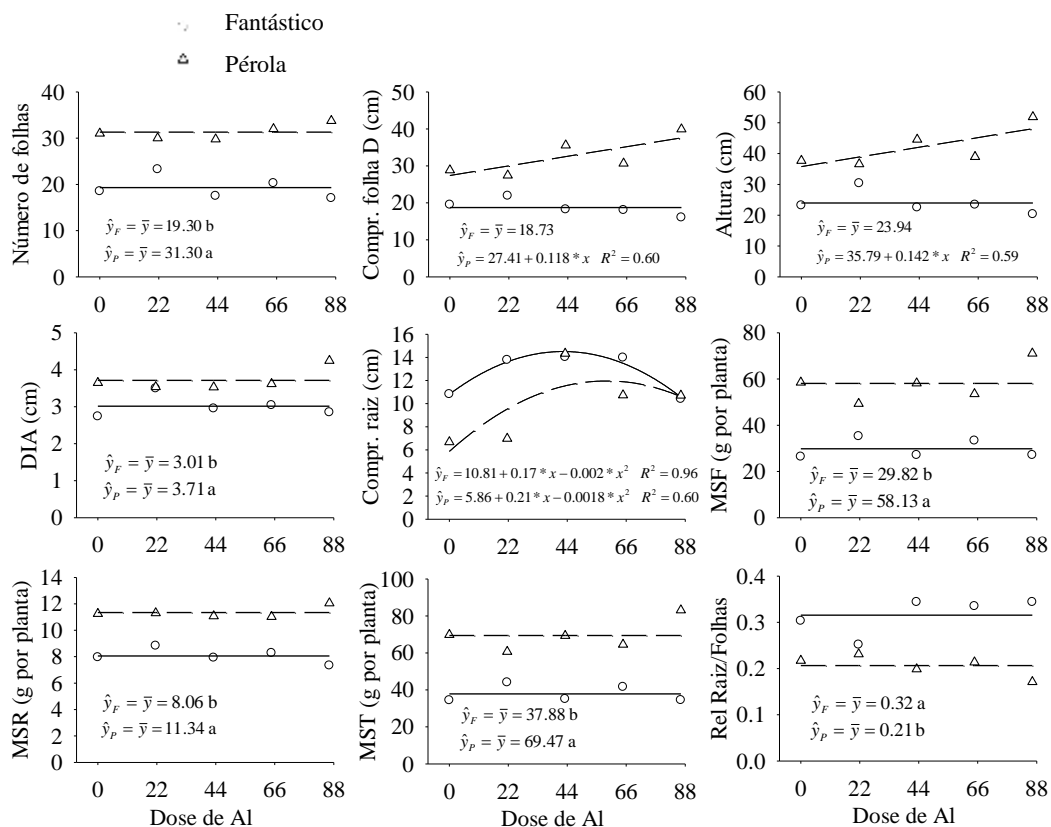


Figura 7. Características de produção (número de folhas, comprimento de folha D, Altura de planta, diâmetro do caule-DIA, comprimento de raiz, matéria seca de folhas-MSF, raízes-MSR, total-MST e relação de produção de matéria seca entre raízes e folhas) obtidas 80 dias após a aplicação das concentrações de Al³⁺.

Na avaliação da absorção de nutrientes por meio da caracterização do teor de macronutrientes nas folhas e raízes (Figura 8), observou-se que as concentrações de Al³⁺, na cultivar IAC Fantástico, decresceu o teor de P de forma linear e o de K e Mg de forma quadrática, os teores de N e Ca se mantiveram estáveis nas folhas. Já nas raízes da cultivar, os teores de N, P, K e Mg se mantiveram estáveis, o teor de Ca apresentou um aumento até as concentrações intermediárias de alumínio, mas tendeu a reduzir nas maiores concentrações.

Na cultivar Pérola, o teor de N, P, Ca e Mg se manteve estável em 1,8; 0,24; 0,55; 0,28 g kg⁻¹, respectivamente, apresentando uma redução no teor de K, nas folhas. Já nas raízes da cultivar, observou-se um aumento nos teores de N e K e uma redução nos teores de P e Ca e o teor de Mg se manteve estável. A ausência de efeito ou aumentos nos teores de nutrientes observados na cultivar Pérola, pode ser indicativo de tolerância ao alumínio. Possivelmente este fenômeno auxiliou nos mecanismos de defesa da cultivar a toxidez do Al³⁺, uma vez que elementos como o P podem auxiliar na formação de compostos insolúveis, como o fosfato de alumínio, retardando a entrada do Al³⁺ no apoplasto (MUHAMMAD et al., 2019).

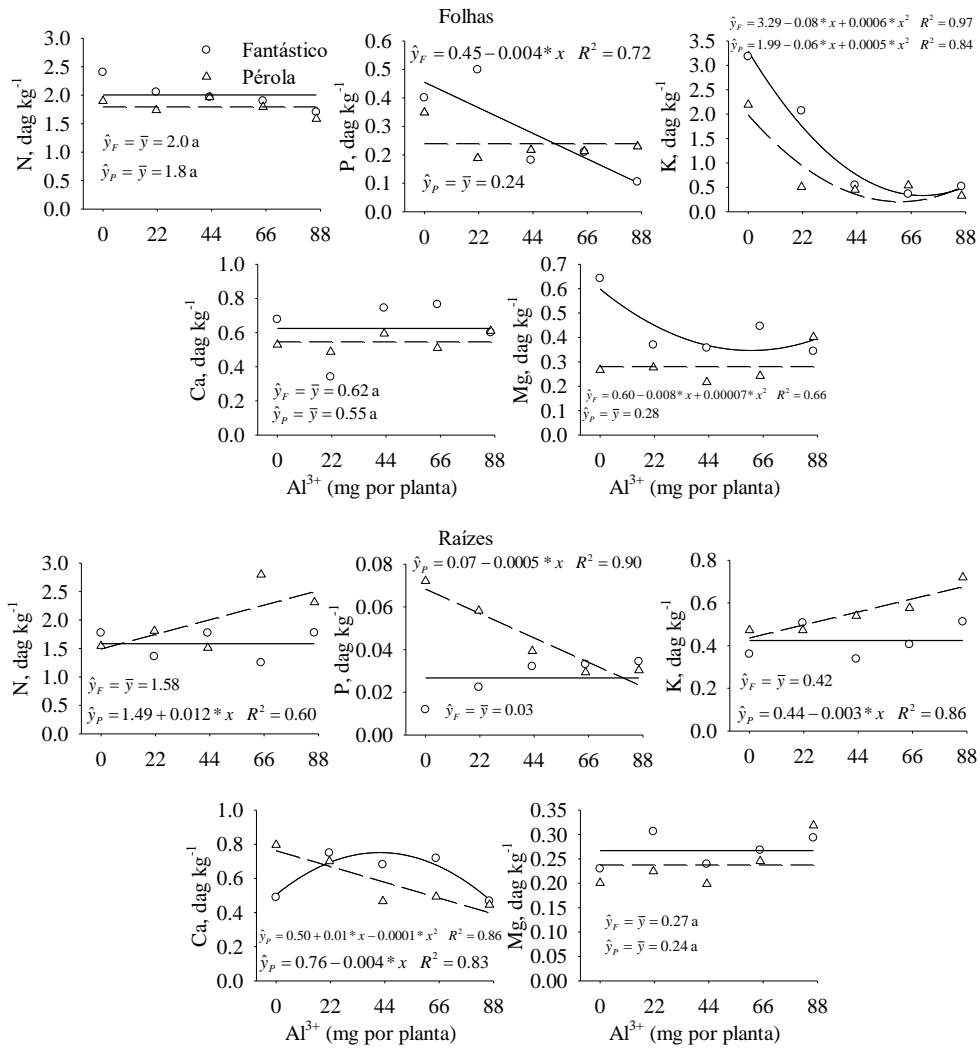


Figura 8. Teor de macronutrientes das folhas e raízes nos abacaxizeiros ‘ICA Fantástico’ (F) e ‘Pérola’ (P) após 80 dias de cultivo em solução nutritiva com concentrações de Al^{3+} . *Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 0,05 de significância.

Comportamento semelhante ao observado no teor, também foi verificado no acúmulo de macronutrientes nas folhas e raízes (Figura 9). Na cv. IAC Fantástico as concentrações crescentes de Al^{3+} na solução nutritiva decresceu o acúmulo de P de forma linear e o K de forma quadrática, o acúmulo de N, Ca e Mg se mantiveram estáveis nas folhas. Nas raízes da cultura, observou-se que o acúmulo de N, P, K e Mg se manteve estável, apresentando uma redução no acúmulo de Ca nas maiores concentrações de Al^{3+} .

Na cultivar Pérola o acúmulo de N, P e Ca na folha não foi influenciado, apresentando um maior acúmulo de Mg nas maiores concentrações de alumínio e uma redução quadrática no acúmulo de K nas folhas. Já nas raízes da cultivar, observou-se

aumento no acúmulo de N e K e uma redução no de P e Ca e o acúmulo de Mg se manteve estável.

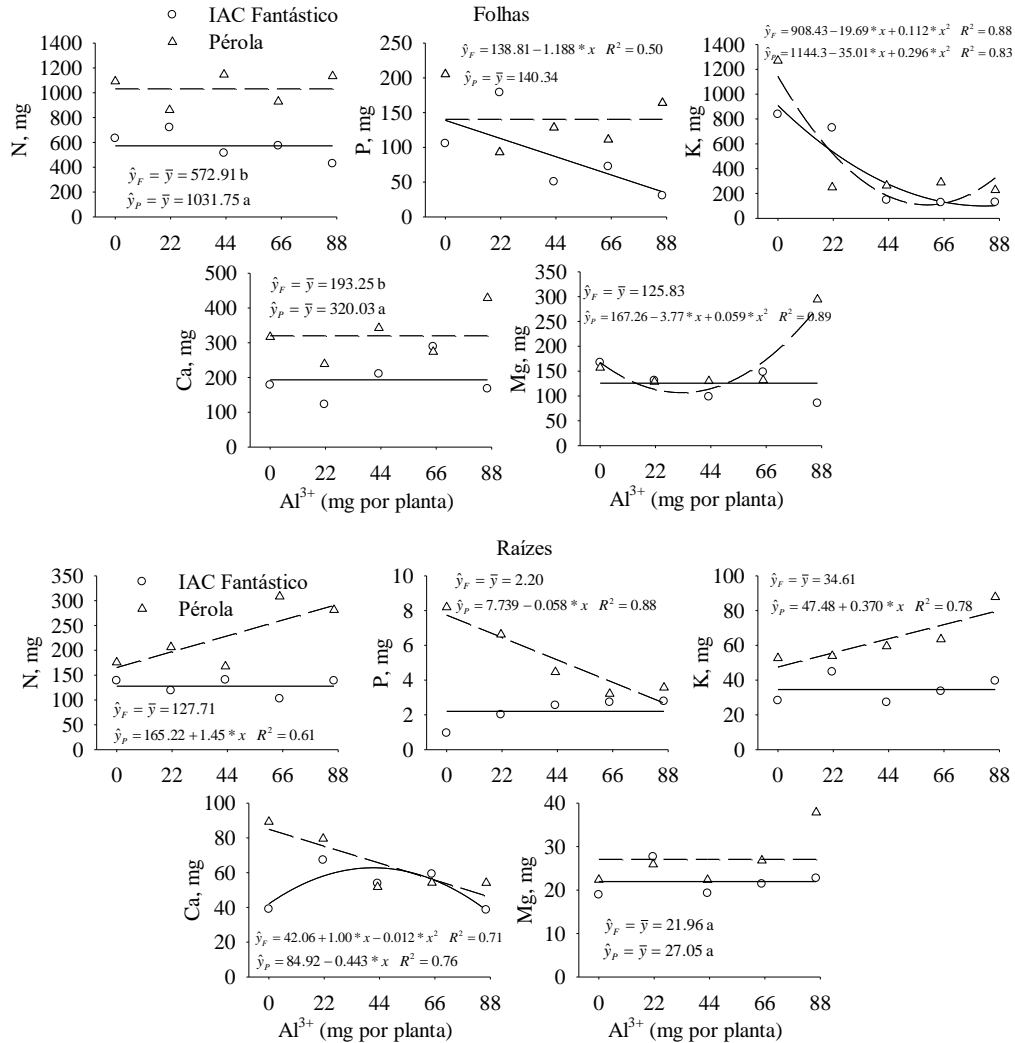


Figura 9. Acúmulos de macronutrientes das folhas e raízes nos abacaxizeiros ‘ICA Fantástico’ (F) e ‘Pérola’ (P) após 80 dias de cultivo em solução nutritiva com concentrações de Al^{3+} . *Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 0,05 de significância.

O decréscimo na absorção de macronutrientes pela cv. IAC Fantástico pode estar associado ao aumento das injúrias causadas pelo Al^{3+} no sistema radicular. Em particular o P, elemento de extrema importância para os vegetais, encontrado no DNA e RNA e no metabolismo energético, na molécula de ATP. É proposto que o P possa se tornar menos solúvel para as plantas por se ligar ao Al^{3+} , formando aluminofosfatos. Outros autores também reportaram redução na absorção e acúmulo de P, Ca e Mg em plantas sensíveis ao Al^{3+} , Freitas et al. (2006) em genótipos de arroz, Peixoto et al. (2007) em sorgo.

Nesse contexto, as cultivares de abacaxi estudadas apresentaram tolerâncias distintas as concentrações de Al^{3+} , em solução nutritiva. A cv. IAC Fantástico apresentou capacidade de crescimento positivo, quanto submetida a concentrações de até 52 mg L^{-1} de Al^{3+} , no entanto, na cv. Pérola foi observado efeito linear positivo, ou seja, a capacidade de produção de fitomassa e absorção de nutrientes não foi afetado até a maior concentração (84 mg L^{-1}), esse resultados sugerem que ambas as cultivares toleram bem o alumínio, porém a cultivar Pérola apresentou maior crescimento na presença do alumínio.

9. CONCLUSÕES

1. As concentrações de Al^{3+} estimularam o crescimento da cv. IAC Fantástico até a concentração 52 mg L^{-1} de Al^{3+} e para a cv. Pérola até a concentração 84 mg L^{-1} de Al^{3+} por planta.

2. A cv. IAC Fantástico apresentou redução no teor e no acúmulo de P e K na folha, e na cultivar Pérola os teores de N, P, Ca e Mg não se alteraram com o aumento das concentrações de Al^{3+} na solução nutritiva.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APTIDÃO climática para a cultura do abacaxi no estado do Acre. In: AMARAL, Eufra Ferreira do; MARTORANO, Lucieta Guerreiro; BARDELES, Nilson Gomes. **Sistema de Produção da Cultura do Abacaxi para o estado do Acre**. [S. l.: s. n.], 26/11/2018. p. 10-13.

AULAR, Jesus; CESARES, Maria; NATALE, Willian. Nutrição mineral e qualidade do fruto do abacaxizeiro e do maracujazeiro.e. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [S. l.], v. 36, n. 4, p. 1046-1054, 5 dez. 2014.

BECKMAN, I. Sobre o cultivo e melhoramento do trigo (*Triticum vulgare*, Vill) no sul do Brasil. **Agronomia Sulriogradense**, Porto Alegre, v. 1, n. 1/4, p. 64-72, 1954.

CABRAL, José Renato Santos. **Variedades de abacaxi**: Embrapa Mandioca e Fruticultura. Circular técnica, 63. [S. l.: s. n.], 2003.

CHEN, Jen-Hshuan; LIN, Yong-Hong. Effect of aluminum on variations in the proteins in pineapple roots. **Soil Science & Plant Nutrition**, [S. l.], p. 438-444, 21 dez. 2010.

CRESTANI, M. et al. Das Américas para o mundo: origem, domesticação e dispersão do abacaxizeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1473– 1483, jun. 2010.

CTENAS, M.L.B.; QUAST, D. Abacaxi. In: ____; _____. (Ed.). **Frutas das terras brasileiras**. São Paulo: C2, 2000. p.41-45.

CUNHA, Getúlio Augusto Pinto da. **Equipe Técnica de Abacaxi Comemora 30 Anos de Atividades e Realizações**: Abacaxi no Brasil: características, pesquisa e perspectivas. 1. ed. Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical Cruz das Almas, BA: [s. n.], 2007. 15-16 p.

CUNHA, Getúlio Augusto Pinto. Fisiologia da floração do abacaxizeiro: Inflorescência do abacaxizeiro-descrição botânica, crescimento e desenvolvimento. *In: FISILOGIA da floração do abacaxizeiro. Embrapa Mandioca e Fruticultura: [s. n.], 2009. cap. 5, p. 57-75.*

CUNHA, Jéssica Moraes; FREITAS, Marta Simone Mendonça; CAETANO, Luiz Carlos Santos. Qualidade do fruto do abacaxizeiro 'Vitória' sob deficiência de macronutrientes e boro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical Cruz das Almas, BA, v. 41, p. 1-10, 14 nov. 2019.

DANIEL, Diego Fernando; RODRIGUES, Nayara Nunes; RAMBO, José Roberto. CUSTO DE PRODUÇÃO E ANÁLISE ECONÔMICA DO ABACAXIZEIRO CULTIVAR 'PÉROLA' EM TANGARÁ DA SERRA - MT, BRASIL. **Revista de Ciências Agronomicas**, [S. l.], v. 28, n. 4, p. 435-451, 2 dez. 2019.

de Oliveira Carvalho Bittencourt, BM, da Silva, CdMS, Filho, SZ *et al.* Exsudação de ácido orgânico induzida por alumínio (Al) em uma espécie acumuladora de Al da savana brasileira. *Trees* **34**, 155-162 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00468-019-01907-5>

DOSSA, Derli; FUCHS, Felipe. ABACAXI: Produção, mercado e preços na CEASA-PR: Informe Técnico 01. ABACAXI. **Ceasa Paraná**, set. 2017.

FAMOSO, Adam N.; ZHAO, Keyan; CLARK, Randy T.; TUNG, Chih-Wei; WRIGHT, Mark H.; BUSTAMANTE, Carlos; KOCHIAN, Leon V.; MCCOUCH, Susan R. Genetic Architecture of Aluminum Tolerance in Rice (*Oryza sativa*) Determined through Genome-Wide Association Analysis and QTL Mapping. **Plos Genetic**, [S. l.], p. 1-12, 4 ago. 2011.

Ferreira, D. F. Sisvar: Um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Symposium*, v.6, p.36-41, 2008.

FERREIRA, Layane Alves; SILVA, Diego Pereira da; SOARES, Dário Ribeiro; SCHEIDT, Gessiel Newton. CA utilização de resíduos das agroindústrias de suco de abacaxi para a produção de bromelina. **Revista Sítio Novo**, [S. l.], v. 1, p. 247-257, 20 out. 2017.

FERREIRA, Reinaldo de Paula; MOREIRA, Adônis; RASSINI, Joaquim Bartolomeu. **Toxidez de alumínio em culturas anuais**: Embrapa Pecuária Sudeste - Documentos (INFOTECA-E). [S. l.: s. n.], 2006. v. 7-29.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Food and agricultural commodities production**. New York: FAOSTAT, 2014. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> Acesso em: 05 mai. 2020.

Freitas, F. A.; Kopp, M. M.; Sousa, R. O.; Zimmer, P. D.; Carvalho, F. I. F.; Oliveira, A. C. Absorção de P, Mg, Ca e K e tolerância de genótipos de arroz submetidos a estresse por alumínio em sistemas hidropônicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.1, p.72- 79, 2006.

HARTWIG, Irineu; OLIVEIRA, Antônio Costa de; CARVALHO, Fernando Irajá Félix de. Mecanismos associados de tolerância ao alumínio em plantas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 2, p. 219-22, 17 jun. 2007.

INSTITUTO Agrônomo Campinas-IAC: **Cultivar de Abacaxizeiro IAC Fantástico**. Campinas, São Paulo, jan. 2010. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/cultivares/inicio/Folders/Abacaxi/IACFant%C3%A1stico.htm>. Acesso em: 4 jun. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018.

KOCHIAN, Leon V.; PINEROS, Miguel A.; LIU, Jiping; MAGALHAES, Jurandir V. Jurandir V. Plant Adaptation to Acid Soils: The Molecular Basis for Crop Aluminum Resistanc. **Review in Advance**, Londrina, v. 28, n. 2, p. 1-21, 22 jan. 2015.

LIN, Yong-Hong. Effects of aluminum on root growth and absorption of nutrients by two pineapple cultivars [Ananas comosus (L.) Merr.]. **African Journal of Biotechnology**, [S. l.], p. 4034-4041, 28 jun. 2010.

LIN, Yong-Hong; CHEN, Jen-Hshuan. Aluminum resistance and cell-wall characteristics of pineapple root apices. **Soil Science and Plant Nutrition**, [S. l.], p. 795–800, 4 jul. 2013.

LIN, Yong-Hong; CHEN, Jen-Hshuan. Effects of aluminum on nutrient uptake in different parts of four pineapple cultivars. **African Journal of Agricultural Research**, [s. l.], p. 1438-1446, 18 mar. 2011.

MATOS, Aristoteles Pires de; ARAUJO, Quionei Silva; GALVÃO, Fábio José Pereira; SOUZA, Antônio Carlos. DOSES DE FERTILIZANTES PARA O ABACAXIZEIRO 'PÉROLA' NA MESORREGIÃO DO SUL BAIANO. **Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, Cruz das Almas, Bahia**, Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, Cruz das Almas, Bahia, p. 1-5, 25 nov. 2015.

MATOS, Aristoteles Pires de; PÁDUA, Tullio Raphael Pereira de; OLIVEIRA, Fabiano Oliveira de Paula; CORDEIRO, Zilton José Maciel; PEREIRA, Rosiane Silva. Sistema orgânico de produção de mudas de abacaxi: **Circular Técnica 127**. Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, Cruz das Almas, Bahia: [s. n.], 2018. 1-11 p.

MIGUEL, Paulo Sérgio Balbino; GOMES, Fernando Teixeira; ROCHA, Wadson Sebastião Duarte da; MARTINS, Carlos Eugênio; CARVALHO, Caio Antunes de; OLIVEIRA, André Vicente de. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos: **CES Revista**. [S. l.: s. n.], 2010. 12-29 p.

MOTA, Mauro F. C.; PEGORARO, Rodinei F.; BATISTA, Paulo S. C.; PINTO, Valéria de O.; MAIA, Victor M.; SILVA, Deivisson F. da. Macronutrients accumulation and growth of pineapple cultivars submitted to aluminum stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S. l.], v. 20, n. 11, p. 978-983, 29 set. 2016.

MUHAMMAD, Noor *et al.* A review: The beneficial effects and possible mechanisms of aluminum on plant growth in acidic soil. **ELSEVIER: Journal of Integrative Agriculture**, [s. l.], v. Volume 18, p. 1518-1528, 10 jul. 2019.

OLIVEIRA, Arlene Maria Gomes; PEREIRA, Marcio Eduardo Canto; NATALE, William; NUNES, Wilson Souza; LEDO, Carlos Alberto da Silva. QUALIDADE DO ABACAXIZEIRO 'BRS IMPERIAL' EM FUNÇÃO DE DOSES DE N-K. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [S. l.], v. 37, n. 2, p. 497-506, 25 jun. 2015.

PEGORARO, Rodinei Facco; SOUZA, Bruna Aparecida Madureira de; MAIA, Victor Martins; SILVA, Deivisson Ferreira da; MEDEIROS, Ananias Costa; SAMPAIO, Regynaldo Arruda. MACRONUTRIENT UPTAKE, ACCUMULATION AND EXPORT BY THE IRRIGATED 'VITÓRIA' PINEAPPLE PLANT. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 38, n. 3, p. 896-904, 27 fev. 2014.

PEIXOTO, PAULO HENRIQUE PEREIRA; PIMENTA, DANIEL SALES; JOSÉ CAMBRAIA, JOSÉ CAMBRAIA. Alterações morfológicas e acúmulo de compostos fenólicos em plantas de sorgo sob estresse de alumínio. **Bragantia**, [S. l.], v. 66, n. 1, p. 17-25, 27 fev. 2007.

RAMALHO, André Rostand; JÚNIOR, José Roberto Vieira; FERNANDES, Cléberson de Freitas; ROCHA, Rodrigo Barros; MARCOLAN, Alaerto Luiz; CASSARO, Juliana Darós. Características das cultivares de abacaxizeiros cultivadas no Estado de Rondônia: **Comunicado Técnico 349**. 1. ed. A Embrapa Rondônia, Porto Velho: [s. n.], 2009.p. 1-6.

REINHARDT, Domingo Haroldo R. C.; CUNHA, Getúlio Augusto Pinto da. **A PROPAGAÇÃO DO ABACAXIZEIRO**. 2. ed. Embrapa Informação Tecnológica Brasília, DF: [s. n.], 2006.p. 1-66.

REINHARDT, Domingo Haroldo. **MANEJO DO SOLO – ÁGUA – PLANTA EM PLANTIOS DE ABACAXI**. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA: [s. n.], 2015. p. 1-13.

REINHARDT, Domingo Haroldo; SOUZA, Luiz Francisco da Silva; CABRAL, José Renato Santos. **ABACAXI Produção: Aspectos Técnicos**. 1. ed. Embrapa Mandioca e Fruticultura: [s. n.], 2000. p.1-76.

RICCE, Wilian da Silva; CARVALHO, Sérgio Luiz Colucci de; CARAMORI, Paulo Henrique; AULER, Pedro Antonio Martins; ROBERTO, Sergio Ruffo. Zoneamento agroclimático da cultura do abacaxizeiro no Estado do Paraná. **Semina: Ciências Agrárias**, Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, BA, p. 1-10, 7 maio 2014.

Ryan, PR, Kinraide, TB & Kochian, LV Al³⁺-Ca²⁺ interações em rizotoxicidade de alumínio. *Planta* **192**, 98–103 (1993). <https://doi.org/10.1007/BF00198698>.

SANTOS, E.; CARNIDE, O. Pinto-; FIGUEIRAS, A.M.; BENITO, C.; MATOS, M. Biochemical, physiological and genetic analysis of aluminum tolerance of different rye 2 species. **Elsevier**, [S. l.], p. 1-26, 7 maio 2019.

SIECIŃSKA, Joanna; WIĄCEK, Dariusz; PRZYSUCHA, Bartosz; NOSALEWICZ, Artur. Drought in acid soil increases aluminum toxicity especially of the Al-sensitive wheat [2019]. **Botânica ambiental e experimental**, [S. l.], p. 1-26, 2019.

SILVA, Danieele Fabíola Pereira *et al.* Produção de mini-alface em cultivo hidropônico. **Revista Unimontes Científica**, [s. l.], 2006.

SILVA, Jadson Freire da *et al.* Mapeamento do potencial geoclimático da fruticultura do abacaxi na microrregião de Araripina – PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v. vol.08, p. 196-210, 3 nov. 2015.

SPEHAR, Carlos Roberto; SOUZA, Luiz Augusto Copati. Tempo de exposição e fonte de cálcio na seleção de soja tolerante ao alumínio em hidroponia: **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. 1. ed. Embrapa Cerrado: [s. n.], 2004. 1-16 p.

TAVARES, Geraldo; NORONHA, Aloyséia Cristina da Silva; MATOS, Aristóteles Pires de; SOUZA, Antônio Ferreira de; PARRY, Martha. PRODUÇÃO DE ABACAXI ‘PEROLA’ EM DIFERENTES DOSES DE ADUBAÇÃO EM FLORESTA DO ARAGUAIA, PARÁ. **Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, Cruz das Almas, Bahia**, [S. l.], p. 1-7. 2015.

VAN, H. Le; MASUDA, T. Physiological and biochemical studies on aluminum tolerance in pineapple. **Australian Journal of Soil Research**, [S. l.], p. 699-707, 17 set. 2004.

VASCONCELLOS, Vivian Carvalho; OLIVEIRA, João Marcelo Santos de. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA E ANATÔMICA DA ESTRUTURA FLORAL EM *Dyckia ibicuiensis* Strehl (Bromeliaceae). **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, [S. l.], v. 6, p. 58-69, 5 jul. 2019.

WANG, Liang; FAN, Xian- Wei; PAN, Jian-Long; HUANG, Zhang-Bao; LI, You-Zhi. Physiological characterization of maize tolerance to low dose of aluminum, highlighted by promoted leaf growth. **Springer**, [S. l.], n. 1, p. 1391–1403, 2015.