



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/FITOTECNIA**

**FRANCISCA FRENNA VEREZZA RODRIGUES DE AMORIM**

**DOSES DE FERRO NO CRESCIMENTO, TROCAS GASOSAS E EFICIÊNCIA**  
**NUTRICIONAL DE MUDAS ENXERTADAS DE CAJUEIRO-ANÃO**

**FORTALEZA**

**2019**

FRANCISCA FRENNA VEREZZA RODRIGUES DE AMORIM

DOSES DE FERRO NO CRESCIMENTO, TROCAS GASOSAS E EFICIÊNCIA  
NUTRICIONAL DE MUDAS ENXERTADAS DE CAJUEIRO-ANÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito à obtenção do título de Mestre em Agronomia/Fitotecnia. Área de concentração: Adubação e nutrição de frutíferas.

Orientador: Prof. Dr. William Natale  
Coorientador: Dr. Carlos Alberto Kenji Taniguchi

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

A543d Amorim, Francisca Frenna Verezza Rodrigues de.  
Doses de ferro no crescimento, trocas gasosas e eficiência nutricional de mudas enxertadas de cajueiro-  
anão / Francisca Frenna Verezza Rodrigues de Amorim. – 2019.  
75 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de  
Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2019.

Orientação: Prof. Dr. William Natale .

Coorientação: Prof. Dr. Carlos Alberto Kenji Taniguchi.

1. Anacardium occidentale L. 2. Deficiência de Ferro. 3. Micronutrientes. 4. Trocas gasosas. I. Título.  
CDD 630

---

FRANCISCA FRENNA VEREZZA RODRIGUES DE AMORIM

DOSES DE FERRO NO CRESCIMENTO, TROCAS GASOSAS E EFICIÊNCIA  
NUTRICIONAL DE MUDAS ENXERTADAS DE CAJUEIRO-ANÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia/Fitotecnia. Área de concentração: Adubação e nutrição de frutíferas.

Aprovado em \_\_/\_\_/\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. William Natale (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Márcio Cleber de Medeiros Corrêa  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dra. Adriana Guirado Artur  
Embrapa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)

À Deus pela vida e por seu infinito amor.

A minha mãe, Simone Rodrigues da Silva e a  
minha tia, Maria Beatriz Rodrigues da Silva,  
pelo amor, carinho e incentivo para

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e que representa o caminho através do qual tenho buscado força para vencer os obstáculos, sempre iluminando e guiando meus passos.

A minha mãe Simone, minha tia Beatriz e ao meu irmão Vinicius pela força e incentivo em todos os momentos bons e difíceis da minha vida.

Ao meu namorado Antônio, por todo apoio, força e companheirismo durante essa etapa.

À Universidade Federal do Ceará e ao programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia pela oportunidade concedida para a realização do mestrado;

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu Orientador Prof. Dr. William Natale, pela orientação, apoio, compreensão e por todos os ensinamentos ao longo do mestrado. Sempre serei grata.

Ao Dr. Carlos Alberto Kenji Taniguchi, pela orientação, paciência, ensinamentos e todo apoio concedido, durante esse período de convivência na Embrapa.

Aos integrantes da banca examinadora, os professores Dr. Márcio Cleber de Medeiros Corrêa e Dra. Adriana Guirado Artur.

À Embrapa Agroindústria Tropical, por toda infraestrutura concedida para a condução do experimento desta dissertação, e aos técnicos do Laboratório de Solos, Lilian, Vanderleia e Sr. Raimundo, pela convivência e por toda ajuda;

Aos amigos da vida, Matheus Lima, Thaís Mascarenhas, Kellyane Mendes, Márcia Gondim e Igor Almeida, por todo carinho e incentivo. A vocês, serei sempre grata.

A todos meus amigos de Pós-graduação, pelo companheirismo e por todos os momentos e conhecimentos compartilhados, em especial: Johny de Souza, Antônia Galdino, Renata Matos, Vinicius Saraiva, Suane Brasil, Rafael Santiago, Luilson Pinheiro e Evelice Cardoso.

A todos os professores da Universidade Federal do Ceará e a todos os profissionais técnicos e servidores do Departamento de Fitotecnia, por suas contribuições, em especial ao Vitor, pela presteza e ao Prof. Dr. Wagner de Melo, pelo apoio na coordenação.

A todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a concretização desta jornada.

Meu MUITO OBRIGADA!

## RESUMO

Plantas de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) têm apresentado, poucos dias após o plantio em campo, clorose internerval nas folhas novas e, com o agravamento dos sintomas, as folhas apresentam-se completamente cloróticas. Esses sintomas de desordem nutricional estão relacionados à deficiência de ferro no cajueiro, que ocorrem devido principalmente à baixa disponibilidade desse micronutriente nos solos e, a falta de conhecimento sobre o requerimento e a resposta da cultura a sua aplicação. Nesse contexto, conduziu-se um experimento com o objetivo de avaliar o crescimento, respostas fisiológicas e eficiência nutricional de mudas enxertadas de cajueiro-anão, em função de doses de ferro. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os tratamentos constaram de cinco doses de ferro (0; 2,5; 5; 7,5 e 10 mg/L), utilizando-se como fonte o sulfato de ferro (20% de Fe). Foram avaliadas as variáveis de crescimento: altura, número de folhas, área foliar, diâmetro do caule e massas secas (raízes, parte aérea e total); as variáveis fisiológicas: fotossíntese ( $A$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração ( $E$ ), eficiência de uso da água (EUA), eficiência instantânea de carboxilação (EIC), pigmentos fotossintéticos e índice relativo de clorofila; e os teores de macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg e S; e o micronutriente Fe. As variáveis foram submetidas à análise de variância pelo teste F e, quando ocorreu diferença significativa, foi realizada análise de regressão. As doses de ferro afetaram significativamente as variáveis de crescimento das mudas enxertadas de cajueiro-anão, com ajuste ao modelo quadrático. A deficiência de Fe, causada pela ausência ou baixa concentração de Fe na solução nutritiva reduziu, significativamente, o acúmulo de nutrientes, a eficiência nutricional e fotossintética das mudas de cajueiro. Doses variando de 5,2 a 6,8 mg de Fe L<sup>-1</sup>, promoveram maior acúmulo para Fe e demais nutrientes avaliados e doses variando de 4,1 a 8,2 mg L<sup>-1</sup> de Fe, promoveram melhor desempenho fotossintético. O genótipo de cajueiro-anão ‘BRS 226’ apresentou boa capacidade de absorver Fe e acumular nas raízes, em contraste, demonstrou baixa eficiência de transportar Fe das raízes para a parte aérea, independente da dose aplicada.

**Palavras-Chave:** *Anacardium occidentale* L. Deficiência de ferro. Micronutriente. Trocas gasosas.

## ABSTRACT

Cashew (*Anacardium occidentale* L.) plants have presented, within days of field planting, internerval chlorosis in the young leaves and, as the symptoms worsen, the leaves are completely chlorotic. These symptoms of nutritional disorder are related to cashew iron deficiency, which occur mainly due to the low availability of this micronutrient in soils and the lack of knowledge about the requirement and the response of the crop to its application. In this context, we have evaluated the effects of different iron levels of iron on the growth, photosynthetic capacity and nutritional efficiency of dwarf cashew grafted seedlings. The experiment was conducted in a greenhouse in a completely randomized design with four replications. The treatments consisted of five iron doses (0, 2.5, 5, 7.5 and 10 mg / L), using iron sulfate (20% Fe) as the source. The growth variables were evaluated: height, number of leaves, leaf area, stem diameter and dry mass (roots, shoot and total); physiological variables: photosynthesis (A), stomatal conductance (gs), transpiration (E), water use efficiency (USA), instantaneous carboxylation efficiency (EIC), photosynthetic pigments and relative chlorophyll index; and macronutrient contents: N, P, K, Ca, Mg and S; and the micronutrient Fe. The variables were subjected to analysis of variance by the F test and, when significant difference occurred, regression analysis was performed. Iron doses significantly affected the growth variables of the dwarf cashew grafted seedlings, with adjustment to the quadratic model. Fe deficiency, caused by the absence or low concentration of Fe in the nutrient solution significantly reduced nutrient accumulation, nutritional and photosynthetic efficiency of cashew seedlings. Doses ranging from 5,2 to 6,8 mg of Fe L<sup>-1</sup> promoted higher accumulation for Fe and other evaluated nutrients and doses ranging from 4,1 to 8,2 mg L<sup>-1</sup> of Fe promoted better photosynthetic performance. On conclusion, the 'BRS 226' dwarf cashew genotype showed good ability to absorb Fe and accumulate in roots, in contrast, demonstrated low efficiency of transporting Fe from roots to shoots, regardless of the applied dose.

**Keywords:** *Anacardium occidentale* L. Iron deficiency. Micronutrient. Gas exchange.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Mudanças de cajueiro-anão BRS '226' utilizadas no experimento .....	28
Figura 2	- Disposição das mudas de cajueiro em casa de vegetação após a instalação do experimento .....	29
Figura 3	- Sintomas visuais de clorose férrica em mudas de cajueiro-anão aos 27 dias após o início dos tratamentos .....	33
Figura 4	- Sintomas visuais de deficiência de ferro, em mudas de cajueiro-anão, aos 90 dias após o início dos tratamentos (doses 0 e 2,5 mg L <sup>-1</sup> de Fe) .....	34
Figura 5	- Mudanças de cajueiro-anão aos 90 dias após o início dos tratamentos (doses 5 e 10 mg L <sup>-1</sup> de Fe) .....	34
Figura 6	- Conteúdo de clorofila a (A) e clorofila b (B) de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe .....	35
Figura 7	- Teor relativo de clorofila (índice SPAD) em mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe .....	36
Figura 8	- Índice SPAD e em folhas cloróticas (A) e não-cloróticas (B) de cajueiro-anão em função de doses de Fe .....	37
Figura 9	- Taxa de assimilação de CO <sub>2</sub> (A) de mudas de cajueiro-anão em função das doses de Fe .....	38
Figura 10	- Condutância estomática (gs) de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe .....	39
Figura 11	- Concentração interna de carbono (C <sub>i</sub> ) em mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe .....	41
Figura 12	- Relação entre concentração interna e externa de carbono (C <sub>i</sub> /C <sub>a</sub> ) de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe .....	41
Figura 13	- Eficiência instantânea de carboxilação (EIC) de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe .....	42
Figura 14	- Transpiração (E) de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe .....	43

Figura 15	–	Eficiência instantânea do uso da água (EUA) de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe .....	44
Figura 16	–	Eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe .....	45
Figura 17	–	Taxa de transporte de elétrons (ERT) de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe .....	45
Figura 18	–	Altura de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe .....	46
Figura 19	–	Área foliar de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe .....	47
Figura 20	–	Massa seca de raízes de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe .....	48
Figura 21	–	Massa seca total de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe .....	49
Figura 22	–	Acúmulo de Fe nas raízes (A) e na planta inteira (B) em mudas de cajueiro-anão adubados com Fe .....	50
Figura 23	–	Acúmulo de Ca na planta inteira (A) e parte aérea (B) em mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe .....	52
Figura 24	–	Acúmulo de K na planta inteira (A) e parte aérea (B) em mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe .....	53
Figura 25	–	Acúmulo de S nas raízes em mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe .....	54
Figura 26	–	Eficiência de absorção de N (A) e K (B) em mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe .....	54
Figura 27	–	Eficiência de utilização de P por mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe .....	55
Figura 28	–	Eficiência de utilização de S (A) e N (B) por mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe .....	56
Figura 29	–	Eficiência de utilização de Mg por mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe .....	57
Figura 30	–	Eficiência de utilização de Ca por mudas de cajueiro-anão em função de	

doses de Fe .....	57
-------------------	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores médios dos acúmulos totais de Fe em folhas de mudas de cajueiro-anão adubados com Fe .....	51
---	----

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

## LISTA DE SÍMBOLOS

- % Porcentagem
- © Copyright
- ® Marca Registrada

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	19
2	<b>HIPÓTESES</b> .....	20
3	<b>OBJETIVOS</b> .....	20
3.1	<b>Específicos</b> .....	20
4	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	20
4.1	<b>Aspectos gerais da cultura do cajueiro</b> .....	20
4.1.1	<i>Importância da cajucultura</i> .....	21
4.1.2	<i>Nutrição mineral do cajueiro</i> .....	23
4.2	<b>Micronutriente ferro</b> .....	23
4.3	<b>Efeito da deficiência de ferro nas plantas</b> .....	26
4.3.1	<i>Mudança nas folhas, raízes e crescimento</i> .....	26
4.3.2	<i>Efeito na concentração de pigmentos</i> .....	26
4.3.3	<i>Efeito na fotossíntese</i> .....	27
4.3.4	<i>Efeito na eficiência do Fotossistema II</i> .....	27
5	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	27
5.1	<b>Caracterização da área experimental</b> .....	27
5.2	<b>Caracterização do material vegetal</b> .....	28
5.3	<b>Delineamento experimental, tratamentos e condução do experimento</b> .....	28
5.4	<b>Preparo e manejo da solução nutritiva</b> .....	29
5.5	<b>Variáveis analisadas</b> .....	30
5.5.1	<i>Componentes biométricos de crescimento</i> .....	30
5.5.2	<i>Determinação do teor de nutrientes</i> .....	30
5.5.3	<i>Acúmulo de nutrientes</i> .....	30
5.5.4	<i>Índices de eficiência nutricional</i> .....	31

5.5.5	<i>Medições de trocas gasosas</i> .....	31
5.5.6	<i>Determinação dos índices relativos de clorofila na folha</i> .....	31
5.5.7	<i>Determinação de pigmentos fotossintéticos</i> .....	32
5.6	<b>Análise estatística dos dados</b> .....	32
6	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	33
6.1	<b>Sintomas visuais de deficiência de ferro</b> .....	33
6.2	<b>Clorose férrica no conteúdo de clorofilas a, b e total</b> .....	35
6.3	<b>Clorose férrica nas variáveis de trocas gasosas</b> .....	38
6.4	<b>Clorose férrica nas variáveis de crescimento</b> .....	46
6.4.1	<i>Altura da planta</i> .....	46
6.4.2	<i>Área foliar</i> .....	47
6.4.3	<i>Massa seca de raízes, parte aérea e total</i> .....	48
6.5	<b>Acúmulo e eficiência nutricional de mudas de cajueiro-anão</b> .....	49
7	<b>CONCLUSÕES</b> .....	58
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	59
	<b>APÊNDICE A - VALORES MÉDIOS DE CLOROFILA A (CLOR A), CLOROFILA B (CLO B), CLOROFILA TOTAL (SPAD), FOTOSÍNTESE (A), CONCENTRAÇÃO INTERNA DE CARBONO (CI) E RELAÇÃO ENTRE CONCENTRAÇÃO INTERNA E EXTERNA DE CARBONO (CI/CA) DE MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS COM FE</b> .....	65
	<b>APÊNDICE B - VALORES MÉDIOS DE CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA (GS), TAXA DE TRANSPORTE DE ELÉTRONS (ERT) E TAXA DE TRANSPIRAÇÃO (E) DE MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS COM FE</b> .....	66
	<b>APÊNDICE C - VALORES MÉDIOS DE EFICIÊNCIA INTRÍNSECA DO USO DA ÁGUA (EIUA), EFICIÊNCIA INSTANTÂNEA DO USO DA ÁGUA (EUA) E EFICIÊNCIA INSTANTÂNEA DE CARBOXILAÇÃO (EIC) DE MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS COM FE</b> .....	67

<b>APÊNDICE D - VALORES MÉDIOS DE ALTURA (A), ÁREA FOLIAR (AF), MASSA SECA DE RAÍZES (MSR), MASSA SECA DE PARTE AÉREA (MSPA) E MASSA SECA TOTAL (MST) EM MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS COM FE .....</b>	<b>68</b>
<b>APÊNDICE E - VALORES MÉDIOS DOS ACÚMULOS DE MACRONUTRIENTES E FERRO TOTAL NA PARTE AÉREA E DE FERRO TOTAL NA FOLHA (F) DE MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS COM FE .....</b>	<b>69</b>
<b>APÊNDICE F - VALORES MÉDIOS DOS ACÚMULOS DE MACRONUTRIENTES E FERRO NAS RAÍZES DE MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS COM FE .....</b>	<b>70</b>
<b>APÊNDICE G – VALORES MÉDIOS DOS ACÚMULOS TOTAIS DE MACRONUTRIENTES E FERRO EM MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS COM FE .....</b>	<b>71</b>
<b>APÊNDICE H - VALORES MÉDIOS DA EFICIÊNCIA DE ABSORÇÃO DE MACRONUTRIENTES E FERRO EM MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS COM FE .....</b>	<b>72</b>
<b>APÊNDICE I - VALORES MÉDIOS DA EFICIÊNCIA DE TRANSPORTE DE MACRONUTRIENTES E FERRO EM MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS COM FE .....</b>	<b>73</b>
<b>APÊNDICE J - VALORES MÉDIOS DA EFICIÊNCIA DE USO DE MACRONUTRIENTES E FERRO EM MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS COM FE .....</b>	<b>74</b>
<b>APÊNDICE K - VALORES MÉDIOS DOS TEORES DE MACRONUTRIENTES E FERRO EM FOLHAS DE MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS COM FE .....</b>	<b>75</b>
<b>APÊNDICE L - VALORES MÉDIOS DOS TEORES DE MACRONUTRIENTES E FERRO NAS RAÍZES DE MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS COM FE .....</b>	<b>76</b>
<b>APÊNDICE M - VALORES MÉDIOS DOS TEORES DE MACRONUTRIENTES E FERRO NA PARTE ÁREA DE MUDAS DE</b>	<b>77</b>

**CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS COM FE .....**

## 1 INTRODUÇÃO

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é uma frutífera tropical, nativa do Brasil, com grande expressão econômica, principalmente no Nordeste do País. O seu cultivo representa uma das principais fontes de renda dessa região e, apesar de o Brasil figurar como um dos principais produtores mundiais de castanha, a produtividade é considerada baixa, em torno de 181 kg/ha, quando comparada a de países como Nígeria, Índia e Costa do Marfim.

Dentre os fatores que contribuem para a baixa produtividade destacam-se a formação dos cajueirais por mudas oriundas de cajueiro comum, o tipo de propagação empregada e a disponibilidade de nutrientes no solo, uma vez que essa frutífera é frequentemente cultivada em solos pobres e de baixa fertilidade natural (SERRANO et al., 2013).

Ao longo dos anos houve avanços em termos de área cultivada com cajueiro. Essa expansão exigiu o desenvolvimento de genótipos com características agrônômicas superiores, destacando-se o porte baixo, a produção precoce, a tolerância a seca e a resistência a doenças. Ao mesmo tempo, esses genótipos tornaram-se mais exigentes em nutrientes, sendo desta forma necessária maior atenção no acompanhamento do estado nutricional dos pomares.

Cajueiros adequadamente nutridos é um dos fatores fundamentais para o sucesso na exploração de um pomar, podendo refletir na precocidade da produção e no retorno econômico do capital investido. Assim, é indispensável conhecer os requerimentos nutricionais das culturas, a fim de que se possa formular recomendações de adubação satisfatórias.

Embora a possibilidade de ocorrer carência de um micronutriente seja menor do que a de um macronutriente, é necessário aprofundar os conhecimentos sobre as necessidades do cajueiro em micronutrientes. Plantas cultivadas em solos pobres nesses elementos minerais podem apresentar redução de crescimento, com queda de 20% a 30% de sua produção; além disso, a ausência de micronutrientes pode provocar desequilíbrios no metabolismo vegetal, que tornam as plantas mais susceptíveis a pragas e doenças, elevando os custos de produção.

Para o cajueiro, em especial no Brasil, existem poucos estudos no que diz respeito aos aspectos nutricionais, principalmente de adubação com micronutrientes e, em particular com o ferro, cuja deficiência pode ser considerada uma desordem nutricional de ocorrência frequente nas áreas de produção. O cajueiro tem apresentado, poucos dias após o plantio em campo, clorose internerval nas folhas novas e, com o agravamento dos sintomas, as folhas apresentam-se completamente cloróticas. Esses sintomas de desordem nutricional estão relacionados à deficiência de ferro nas plantas.

A falta de conhecimento sobre o requerimento de Fe, a dose adequada a se aplicar no solo e a resposta das culturas à aplicação é ainda uma grande preocupação. Existe uma lacuna na recomendação de adubação com micronutrientes para grande parte das culturas e, apesar da importância do ferro para as plantas, não há relatos baseados em pesquisa na literatura a respeito da utilização desse micronutriente na produção de mudas de cajueiro, tão pouco da eficiência dessa frutífera em relação a esse nutriente.

## **2 HIPÓTESES**

- a) O cajueiro é uma frutífera exigente em Fe;
- b) O cajueiro tem baixa eficiência de absorção e/ou utilização de Fe;

## **3 OBJETIVOS**

Avaliar doses de ferro no crescimento, eficiência fotossintética e eficiência nutricional de mudas enxertadas de cajueiro-anão ('BRS 226'), cultivados em solução nutritiva.

### **3.1 Específicos**

- Avaliar a eficiência de utilização de Fe em mudas enxertadas de cajueiro-anão;
- Determinar os possíveis mecanismos de respostas do genótipo de cajueiro-anão 'BRS 226' em relação a variação das concentrações de ferro presentes em solução nutritiva;
- Caracterizar alterações nas variáveis fotossintéticas do genótipo de cajueiro-anão, 'BRS 226', em resposta a condições de deficiência de ferro;

## **4 REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1 Aspectos gerais da cultura do cajueiro**

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é uma planta rústica, nativa brasileira, pertencente ao gênero *Anacardium* família *Anacardiaceae*, a qual é compreendida por cerca de 60 gêneros e 400 espécies (SOUSA; LORENZI, 2008; LEITE, 2013). No Brasil são explorados comercialmente apenas os cajueiros conhecidos como comum e anão-precoce, sendo que

ambos pertencem à mesma espécie *A. occidentale* L., a única do gênero que é cultivada, além de ser, também, a de maior dispersão (FREITAS et al., 2014).

É uma planta perene, arbustiva, cuja copa atinge, no tipo comum, altura média variando de cinco a quinze metros e envergadura entre 12 e 14 metros. Diferentemente, o tipo anão-precoce apresenta porte mais baixo, com altura média de 3 a 4 m, copa compacta e homogênea, e envergadura de copa média em torno de 7 a 9 m (MONTENEGRO et al., 2011; FREITAS et al., 2014).

Essa frutífera possui sistema radicular pivotante, sendo composto por uma raiz principal bem desenvolvida, que pode ultrapassar 10 metros de profundidade, além de raízes laterais absorventes localizadas predominantemente nas camadas entre 15 e 32 cm de profundidade (LEITE, 2013). As folhas são simples, inteiras, com limbo coriáceo e espesso e as flores pequenas, dispostas em panículas terminais, com coloração variando do verde-branqueado ao vermelho. O cajueiro é uma espécie andromonóica, podendo ser encontradas na mesma panícula flores masculinas e hermafroditas (VIDAL NETO et al., 2013; SERRANO; C, 2013).

O fruto verdadeiro é a castanha-de-caju, um aquênio reniforme de cor marrom-acinzentada, composto externamente pelo pericarpo (casca) e internamente pela amêndoa (semente). A amêndoa é o principal produto comercializado do cajueiro, rica em proteínas, cálcio, fósforo e vitaminas. A castanha se encontra presa ao pedúnculo ou pseudofruto, o qual tem aspecto carnoso e suculento; embora seja conhecido por ser comestível, o pseudofruto não é amplamente apreciado para o consumo *in natura*, devido ao seu sabor azedo e adstringente (BEEJMOHUN et al., 2015).

É uma frutífera adaptada ao clima tropical, que exige para o seu desenvolvimento altas temperaturas, com média de 27° C. Suporta temperaturas mais elevadas (33 a 35° C), sendo sensível a períodos prolongados de frio e a geadas. A umidade relativa do ar mais indicada para a cultura está entre 70 e 80%. A precipitação pluvial anual deve situar-se nos limites entre 800 e 1500 mm, distribuída em 5 a 7 meses, com período seco de 5 a 6 meses, coincidindo com as fases de floração e frutificação (OLIVEIRA, 2005).

#### **4.1.1 Importância da cajucultura**

O cultivo do cajueiro tem papel relevante na agricultura brasileira, sobretudo no Nordeste, tanto por ser uma atividade agrícola propícia às condições semiáridas desta região, quanto por gerar emprego e renda, além de receita de exportação. Estima-se que cerca de 35

mil empregos diretos são gerados no campo, 20 mil na indústria, além de 250 mil empregos indiretos nos dois setores (VIDAL NETO, 2013). No semiárido Nordeste, a importância é ainda maior, pois, os empregos no campo surgem na entressafra das culturas tradicionais, empregando grande quantidade de pessoas numa fase do ano na qual praticamente não existe outra produção.

O cajueiro fornece matérias-primas que originam diversos produtos que são explorados comercialmente. Do pedúnculo (pseudofruto), se produz bebidas, por exemplo, cajuína, suco integral, licores, refrigerantes, além de doces e ração animal, sendo ainda vendido para consumo *in natura*, como fruto de mesa. Da castanha (o fruto verdadeiro), obtêm-se a amêndoa da castanha-de-caju (ACC), e o líquido da casca da castanha-de-caju (LCC), ambos de grande valor comercial (SOUZA FILHO, 2010). A castanha-de-caju é o principal produto explorado comercialmente e, geralmente, representa a única fonte de recursos de agricultores que utilizam as lavouras temporárias (arroz, feijão, mandioca, etc.) para o consumo, vendendo somente a castanha-de-caju.

O Brasil está entre os 10 maiores produtores mundiais de castanha-de-caju, com uma produção em torno de 134.500 toneladas em 2017 e área plantada de 535.547 hectares; desse total, cerca de 99% está localizado no Nordeste. Entre os estados produtores do Nordeste brasileiro destacam-se o, Ceará, que possui a maior área plantada com cajueiro no País (61,6% da área nacional e 61,9% da área nordestina), Rio Grande do Norte e Piauí. Em termos de produtividade, em 2017, no Piauí, a produção por hectare de castanha foi de 224 kg ha<sup>-1</sup>, o Rio Grande do Norte produziu 338 kg ha<sup>-1</sup> e o Ceará produziu 234 kg ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2018).

Ceará é o estado que gera o maior valor da produção nesta cadeia, sendo a cajucultura uma das principais atividades agrícolas em importância do estado, responsável por aproximadamente 60,8% da produção total de castanha-de-caju produzida no Brasil (IBGE, 2018). Esse fato ocorreu porque o estado cearense vem investindo em técnicas de aperfeiçoamento, como plantas mais produtivas, com substituição das áreas cultivadas com cajueiros comuns propagadas por sementes, por clones de cajueiro anão-precoce, tornando essas área mais produtivas e, assim, tem gerado mais renda aos produtores, o que tem colocado, conseqüentemente, o Ceará em primeiro lugar nas exportações de castanha-de-caju no Brasil (SERRANO; PESSOA, 2016).

Apesar do destaque do Brasil no cenário da cajucultura, a produtividade brasileira de castanha-de-caju, está abaixo do seu potencial na maioria dos locais onde é cultivado, principalmente porque é realizado em áreas de solos pobres e de baixa fertilidade, com pouco investimento tecnológico, dificultando o aumento da produtividade.

#### **4.1.2 Nutrição mineral do cajueiro**

O cajueiro é tido como uma planta que se desenvolve bem em condições de baixa disponibilidade de nutrientes, razão pela qual muitos cultivos são encontrados em solos de baixa fertilidade natural, sem qualquer aporte de fertilizantes. No entanto, tem sido observado que o rendimento de castanha é incrementado com a adubação da cultura (CRISÓSTOMO; NAUMOV, 2009).

O objetivo de conhecer os requerimentos nutricionais das culturas é estabelecer práticas corretivas que permitam obter os máximos rendimentos possíveis, de acordo com o genótipo explorado. Assim, o conhecimento das exigências nutricionais do cajueiro pode fornecer informações para o suprimento dos elementos essenciais, nas mais variadas fases fenológicas da planta e, desta forma, permitir aumentar o aproveitamento dos elementos essenciais absorvidos pela cultura (LIMA, 1993).

Quanto a absorção, estudos mostraram que este processo no cajueiro pode ocorrer em duas épocas, com intensidades distintas, ou, acontecer de forma contínua tanto para macro quanto micronutrientes. Haag et al. (1975) relataram que a absorção de N, P, K, Ca e Mg em plantas de cajueiro-comum ocorrem intensamente em duas épocas: a primeira do 3º ao 8º ano e, a segunda, do 8º ao 10º ano, a partir da qual há diminuição no ritmo de absorção. O enxofre constitui uma exceção, sendo absorvido continuamente, não apresentando época preferencial. No que concerne aos micronutrientes, B, Cu e Zn também exibem duas épocas distintas de absorção, a primeira até os 4 anos, ocorrendo após esta idade um aumento considerável na absorção destes nutrientes. Quanto ao Fe, sua absorção pela planta ocorre de modo contínuo e em quantidades crescentes, com algumas oscilações a partir do 10º ano; o Mn apresenta absorção contínua até o 12º ano, seguido de diminuição na quantidade acumulada.

Haag et al. (1975) determinaram os teores de macro e micronutrientes no pedúnculo e na castanha, concluindo que entre os micronutrientes, o Fe é o quarto mais exigido e o primeiro mais exportado, sendo o crescimento do cajueiro seriamente comprometido na ausência de ferro. Logo, este micronutriente pode ser apontado como um fator limitante para o cultivo comercial do cajueiro.

#### **4.2 Micronutriente ferro**

Micronutrientes são elementos essenciais para o crescimento e o desenvolvimento das espécies vegetais (MALAVOLTA et al., 1997). As plantas mostram requerimentos para

cada micronutriente; assim, todos os organismos precisam adquirir quantidades adequadas desses elementos para haver equilíbrio envolvendo sua mobilização, absorção, distribuição e armazenamento na planta (BOYER; CLARK; LA ROCHE, 1988).

Entre os micronutrientes, o ferro (Fe) é um dos minerais mais importantes, requerido como um componente integral. Apresenta, entre outras funções, participação na constituição de diversas enzimas envolvidas na transferência de elétrons e nas reações redox; regulação de vários processos bioquímicos como a biossíntese de clorofila, fotossíntese e respiração, além de também apresentar funções na redução de nitritos e sulfatos (ROUT; SAHOO, 2015; NIKOLIC; PAVLOVIC, 2018). O Fe é, também, constituinte vital no aparato fotossintético; em relação ao ferro intracelular, normalmente, cerca de 80% deste nutriente encontra-se nas organelas fotossintéticas. No complexo fotossintético, dois ou três átomos de ferro estão presentes nos constituintes de moléculas relacionadas ao fotossistema II (FSII); 12 átomos no fotossistema I (FSI), cinco no complexo citocromo b6f e dois na molécula de ferredoxina (VAROTTO et al., 2002).

De forma geral, o ferro é absorvido pelas plantas na forma ferrosa ( $\text{Fe}^{2+}$ ) (SCHMIDT, 2003). Depois que entra na epiderme, absorvido pelas raízes, é transportado por difusão até os vasos do xilema, via plasmodesma da raiz. O Ferro é então carregado no xilema e se move em direção à parte aérea por meio do potencial gerado pelo fluxo de transpiração. Sua mobilidade no floema é um mecanismo ainda pouco compreendido, mas, sabe-se que folhas jovens são quase exclusivamente supridas com ferro via floema e o ácido nicotinâmico (NA) é sugerido como seu transportador (BROADLEY et al., 2012). Dentro da planta, o ferro é considerado pouco móvel e essa mobilidade é afetada por vários fatores, como a presença de Mn, a deficiência de K, a alta luminosidade e o elevado teor de fósforo. Considera-se que o ferro, em geral, tem remobilização intermediária em plantas superiores, em função da incorporação do ferro em componentes estruturais nos cloroplastos e moléculas orgânicas (MARSCHNER, 2012; NIKOLIC ; PAVLOVIC, 2018).

Embora o ferro seja o quarto elemento mais abundante na crosta terrestre, é o terceiro nutriente mais limitante para o crescimento das plantas em geral, principalmente devido à baixa solubilidade da forma férrica oxidada ( $\text{Fe}^{3+}$ ) (ZUO; ZHANG, 2011). A baixa solubilidade do ferro oxidado ( $\text{Fe}^{3+}$ ) torna sua absorção limitada pelas raízes e, mesmo plantas com alto teor de ferro total, podem apresentar sintomas de deficiência, pois, este elemento pode estar na forma insolúvel no interior do tecido vegetal ou precipitado nas raízes, sem exercer sua função fisiológica na nutrição da planta. Desta forma, a deficiência de ferro nas plantas está

frequentemente associada às condições determinantes da sua disponibilidade (RÖMHELD; MARSCHNER, 1986; PRADO; VARA, 2011).

Em resposta a esta limitada disponibilidade de Fe no solo, as plantas desenvolveram dois mecanismos de absorção, intensificados conforme a deficiência para lidar com a insolubilidade do ferro (RÖMHELD; MARSCHNER, 1986). O primeiro, característico de dicotiledôneas e monocotiledôneas não gramíneas (Estratégia I), consiste na redução do  $\text{Fe}^{3+}$  em  $\text{Fe}^{2+}$  pela liberação de prótons no meio. Esta redução compreende três etapas: solubilização do Fe, redução do Fe III para Fe II por um quelato férrico-redutase ligado à membrana e, subsequente importação do Fe II na célula por meio de transportadores específicos (HELL, STEPHAN, 2003; NIKOLIC; PAVLOVIC, 2018). O segundo mecanismo, desenvolvido por gramíneas (Estratégia II), baseia-se na liberação pelas raízes de fitossideróforos, que quelatam o Fe pouco solúvel, formando um complexo quelatado ( $\text{Fe}^{3+}$ -fitossideróforo), que é então absorvido pelas raízes (BRIAT; CURIE; GAYMARD, 2007).

Dentro do grupo de plantas da Estratégia I e Estratégia II, várias espécies e genótipos diferem na eficiência de Fe. O termo “Eficiente em Fe” significa que os genótipos eficientes induzem fortes mudanças fisiológicas e morfológicas, que permitem a aquisição suficiente de Fe para o crescimento normal das plantas, em condições de disponibilidade limitada do elemento (RENGEL, 2001; RÖMHELD; NIKOLIC, 2006). Nas espécies da Estratégia I, observa-se que os genótipos eficientes geralmente demonstram maior expressão de um ou mais componentes da maquinaria de aquisição de Fe. Como, por exemplo, maior capacidade de acidificar a rizosfera, maior capacidade de reduzir os quelatos de Fe III e maior absorção de Fe II (RENGEL, 2001). Já nas espécies da estratégia II, alguns autores apontaram correlação positiva entre a eficiência de Fe e a liberação de fitossideróforos. Genótipos eficientes em ferro, como de trigo e de aveia, apresentaram maior exsudação de fitossideróforos em comparação com os ineficientes em Fe.

A deficiência de Fe é a causa de uma desordem nutricional comum em muitas plantas cultivadas. É ocasionada, em geral, tanto pela baixa solubilidade e baixa concentração de ferro na solução do solo, quanto pela sua relação com outros nutrientes (PÉREZ-SANZ; LUCENA, 1995). A calagem, quando em altas doses, também pode induzir a deficiência desse nutriente. A baixa disponibilidade de Fe se acentua em solos com pH alcalino ou próximo da neutralidade (MARSCHNER, 1995). A solubilidade do ferro diminui drasticamente com o aumento do pH, devido a hidrólise, polimerização e precipitação com íons inorgânicos.

Outro fator é a interação com vários nutrientes. O suprimento inadequado de Fe afeta a absorção, a redistribuição ou a função de outros nutrientes, podendo induzir a deficiência

ou toxidez. A deficiência de ferro pode ser induzida pelo excesso de alguns cátions como Zn e Mn, que diminuem sua absorção. Algumas plantas podem, também, exibir inibição da utilização do Fe do meio à medida que se aumenta a concentração de fósforo. Relações sinérgicas foram observadas entre P e Fe nas raízes e K e Fe no caule de plantas de cajueiro. As concentrações de ferro na planta diminuíram com o incremento de fósforo. Por sua vez, aumentando o K, a concentração de Fe tendeu a diminuir no caule, ao passo que nas folhas aumentou. Além disso o aumento de Mg diminui as concentrações de Fe no cajueiro (FALADE, 1980).

### **4.3 Efeito da deficiência de ferro nas plantas**

#### **4.3.1 *Mudança nas folhas, raízes e crescimento***

As folhas são o principal local onde a deficiência de ferro pode ser visualmente reconhecida. Um dos sintomas característicos da deficiência de ferro é a clorose, causada principalmente pelo decréscimo na biossíntese da clorofila. Como consequência, as plantas que crescem em condições de deficiência de Fe apresentam sintomas de clorose generalizada nas folhas jovens, com nervuras verdes mais escuras, formando um reticulado fino (RÖMHELD; NIKOLIC, 2006), que reflete negativamente na produção das culturas. Folhas deficientes em ferro se tornam cloróticas e são mais grossas que as folhas verdes devido ao aumento da espessura do parênquima paliçádico e esponjoso (MALDONADO et al., 2006). Nas raízes, as alterações morfológicas se mostram de forma crítica, incluindo espessamento da ponta da raiz, produção de pelos radiculares profusos, inibição do alongamento da raiz, liberação de compostos redutores e diferenciação das células de transferência (BAVARESCO; FREGONI; PERINO, 1994).

#### **4.3.2 *Efeito na concentração de pigmentos***

Acredita-se que a deficiência de ferro leva a um estresse oxidativo, que posteriormente gera vários distúrbios que afetam a fisiologia da planta (CHAKRABORTY et al., 2012). Boas correlações foram observadas entre os teores de ferro e clorofila por alguns autores (BENNETT, 1945; JACOBSON; OERTLI, 1956). Como o ferro está ligado a produção de clorofila, a deficiência de ferro pode danificar irreversivelmente a sua biossíntese (JACOBSON; OERTLI, 1956) e provocar o aparecimento de clorose. Portanto, a concentração

de clorofila foliar pode ser uma boa ferramenta para monitorar o status de ferro nas plantas (CHAKRABORTY et al., 2012; CHAKRABORTY et al., 2014).

#### **4.3.3 Efeito na fotossíntese**

O ferro participa da constituição de diversos compostos envolvidos na fotossíntese, como citocromo oxidase, ferredoxina e proteína ferro-enxofre. Plantas sob condições de deficiência de ferro apresentam quantidades reduzidas desses compostos (AGARWAL; SHARMA; FAROOQ, 1965). A deficiência de ferro diminui, também, as taxas de fotossíntese e transpiração, a eficiência da transpiração instantânea e a condutância estomática. No entanto, aumentam as concentrações de CO<sub>2</sub> subestomático. Destroi a estrutura e funcionamento dos cloroplastos, provoca redução no número de unidades fotossintéticas e reduz a eficiência do fotossistema II. Ocorre rompimento da cadeia de transporte de elétrons na fotossíntese, o que afeta a fotólise da água e, conseqüentemente, bloqueia e reduz a eficiência da fotossíntese das plantas sob essa condição de estresse, afetando a síntese de fotoassimilados (LI et al., 2011).

#### **4.3.4 Efeito na eficiência do Fotossistema II**

A mudança na fluorescência da clorofila pode ser usada como ferramenta alternativa para identificar a deficiência de ferro em árvores frutíferas (VAL et al., 1995). A eficiência real do fotossistema II na fotossíntese em estado estacionário é reduzida pela deficiência de ferro. Essa condição provoca o fechamento de centros de reação do fotossistema II e diminuição de sua eficiência, sendo responsável não apenas pela redução da absorvância, mas, também, pelo aumento da quantidade relativa de luz dissipada termicamente pela antena do fotossistema II (MORALLES et al., 1998).

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 Caracterização da área experimental**

O experimento foi conduzido durante os meses de agosto a dezembro de 2018, em casa de vegetação, localizada na Embrapa Agroindústria Tropical, situada no município de Fortaleza, Ceará (3°43'02" S e 38°32'35" W e 19,6 m de altitude). O clima predominante na

região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Aw', ou seja, clima tropical chuvoso, com temperatura média anual de 26,5°C.

## 5.2 Caracterização do material vegetal

Foram utilizadas no experimento mudas de cajueiro-anão 'BRS 226' enxertadas sobre porta-enxertos obtidos de sementes de cajueiro-anão 'CCP 06', com 120 dias de idade, produzidas no Campo Experimental da Embrapa Agroindústria Tropical/Pacajus (Figura 1).

Figura 1- Mudas de cajueiro-anão BRS '226' utilizadas no experimento



Fonte: Autor, 2018

## 5.3 Delineamento experimental, tratamentos e condução do experimento

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco doses de ferro (0; 2,5; 5; 7,5 e 10 mg L<sup>-1</sup>) e quatro repetições, utilizando-se como fonte o sulfato de ferro (20% de Fe). Para a condução do experimento foi utilizada como substrato a areia lavada, que foi colocada em solução 10% de HCl (v:v) por cerca de 24 horas, seguida de enxague com água de torneira até a obtenção do pH da mistura água e areia próximo a neutralidade.

Mudas com 120 dias foram transferidas para vasos de plástico com capacidade de 4,5 L, adaptados com mangueira na lateral, que permitia a drenagem da solução nutritiva (Figura 2). Após o transplante, as mudas passaram a receber diariamente a solução nutritiva de

Hoagland e Arnon, a 25% da concentração de macro e micronutrientes. Após três semanas de aclimatação, iniciou-se a aplicação da solução nutritiva de Hoagland e Arnon a 100% da concentração de macro e micronutrientes, com adequação das concentrações de Fe conforme os tratamentos. As concentrações da solução completa de Hoagland & Arnon (1950) com 100% da força iônica são indicadas a seguir: 1 mM de  $\text{N-NH}^{4+}$ ; 10 mM de  $\text{N-NO}_3^-$ ; 1 mM de P (na forma de fosfato); 6 mM de K, 4 mM de Ca; 2 mM de Mg; 2 mM de S; 46,30  $\mu\text{M}$  de B; 9,14  $\mu\text{M}$  de Mn; 0,76  $\mu\text{M}$  de Zn, 0,31  $\mu\text{M}$  de Cu e 0,10 de  $\mu\text{M}$  de Mo e 89,61  $\mu\text{M}$  de Fe. É importante ressaltar que a concentração de 89,61  $\mu\text{M}$  de Fe corresponde a 5  $\text{mg L}^{-1}$  de Fe, que é considerada padrão. Dessa forma, as doses de 0; 2,5; 5; 7,5 e 10  $\text{mg L}^{-1}$  de Fe corresponderam, respectivamente, a 0; 44,81; 89,61; 134,42 e 179,22  $\mu\text{M}$  de Fe.

Figura 2 - Disposição das mudas de cajueiro em casa de vegetação após a instalação do experimento



Fonte: Autor (2018)

#### 5.4 Preparo e manejo da solução nutritiva

A solução nutritiva foi preparada com água destilada e fertilizantes, sendo os nutrientes fornecidos pelas seguintes fontes (reagentes PA):  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ;  $\text{KNO}_3$ ;  $\text{MgSO}_4$ ;  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ;  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . O pH da solução nutritiva, em todos os tratamentos, foi mantido em aproximadamente 5,5 por meio da adição de HCl ou NaOH 1 M. A solução nutritiva foi aplicada diariamente, no início

da manhã, na quantidade de 250 mL por vaso, e a drenagem feita quando necessária. As plantas permaneceram nestas condições por três meses, quando foram avaliadas as variáveis de crescimento.

## **5.5 Variáveis analisadas**

### **5.5.1 Componentes biométricos de crescimento**

Após 90 dias do início da aplicação dos tratamentos foram realizadas as avaliações das seguintes variáveis biométricas: altura das mudas (do colo à gema apical), diâmetro do caule a 5 cm do colo (no ponto de enxertia), número de folhas e área foliar. A altura de plantas foi determinada com o auxílio de trena. O diâmetro do caule foi mensurado com o auxílio de paquímetro digital. O número de folhas foi determinado pela contagem de todas as folhas da planta. A área foliar foi determinada por meio do integrador de área foliar LI-3100C, LI-COR®.

Logo após as avaliações biométricas, as plantas foram coletadas e separadas em folhas, caule e raízes. As folhas e o caule foram lavados com água, ácido clorídrico a 3% (v:v) e água desionizada, sendo colocadas em sacos de papel e levadas a estufa com circulação forçada de ar, a 65 °C, até massa constante. Após a secagem foram determinadas as massas da matéria seca das folhas e caule. As raízes foram lavadas em água, solução de EDTA 0,02 mol L<sup>-1</sup>, ácido clorídrico a 3% (v:v) e água desionizada. Posteriormente, as raízes foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa com circulação forçada de ar até massa constante para a obtenção da massa seca de raízes.

### **5.5.2 Determinação do teor de nutrientes**

O material seco em estufa foi triturado em moinho tipo Wiley e analisado para a determinação dos teores de nutrientes na parte aérea (folhas + caule) e nas raízes, conforme metodologia da Carmo et al. (2000).

### **5.5.3 Acúmulo de nutrientes**

O acúmulo (A) de nutrientes na parte aérea, nas raízes e na planta inteira (raízes + parte aérea) foi calculado pela expressão:  $A = [MSPA \text{ ou } MSR \text{ (g)} \times \text{teor do macronutriente (g kg}^{-1}\text{)} \text{ ou do micronutriente (mg kg}^{-1}\text{)}] / 1000$ , em que: MSPA = massa seca da parte aérea; MSR

= massa seca das raízes. A quantidade total de nutrientes acumulada na planta inteira foi calculada pelo somatório dos valores acumulados na parte aérea e nas raízes.

#### 5.5.4 Índices de eficiência nutricional

A partir da matéria seca e do conteúdo de Fe na planta foram calculados os seguintes índices de eficiência nutricional:

a) Eficiência de absorção do nutriente (EA), em mg do nutriente por g de matéria seca de raízes (SWIADER et al., 1994):

$$EA = (\text{conteúdo total do nutriente (Fe) na planta/massa seca das raízes})$$

b) Eficiência de transporte do nutriente (ET), em % (LI et al., 1991):

ET = (conteúdo do nutriente (Fe) na parte aérea/conteúdo total de nutriente na planta x 100)

c) Eficiência de utilização do nutriente (EU), em g de matéria seca ao quadrado por mg do nutriente acumulado (SIDDIQI; GLASS, 1981):

$$EU = (\text{matéria seca total produzida}^2/\text{conteúdo total do nutriente (Fe) na planta})$$

#### 5.5.5 Medições de trocas gasosas

As características de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (*A*), condutância estomática ao vapor de água (*g<sub>s</sub>*), transpiração (*E*), concentração interna de CO<sub>2</sub> (*C<sub>i</sub>*), razão entre as concentrações interna e ambiente de CO<sub>2</sub> (*C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>*) foram determinadas utilizando-se um analisador portátil de gás no infravermelho (IRGA, Li-Cor - Li6400 XT), com concentração de CO<sub>2</sub> na câmara a 400 mol<sup>-1</sup> mol e 1200 μmol photons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. As eficiências intrínsecas (*A/g<sub>s</sub>*) e instantâneas (*A/E*) do uso da água, bem como a eficiência instantânea de carboxilação (*A/C<sub>i</sub>*), foram estimadas pelo quociente da assimilação líquida do carbono com a condutância estomática ao vapor de água, transpiração e concentração interna de CO<sub>2</sub> respectivamente.

As medições de trocas gasosas foram realizadas aos 41 dias após o início dos tratamentos, sendo as leituras feitas entre as 8 e 11 horas da manhã, selecionando-se quatro repetições de cada tratamento, nas quais foram escolhidas e padronizadas a 3<sup>a</sup> folha com limbo totalmente expandido.

#### 5.5.6 Determinação dos índices relativos de clorofila na folha

Para a determinação dos índices relativos de clorofila foram realizadas leituras pela manhã em cada planta, usando-se um medidor de clorofila SPAD. As folhas mais novas, totalmente expandidas, foram analisadas. As leituras SPAD foram realizadas aos 20, 27, 34 e 41 dias após o início da aplicação dos tratamentos.

### 5.5.7 *Determinação de pigmentos fotossintéticos*

A quantificação dos pigmentos fotossintéticos foi determinada segundo Wellburn (1994), em que foram retirados três discos foliares (aproximadamente 0,05 g) de folhas completamente expandidas, os quais foram colocados em frascos de vidro revestidos com papel alumínio contendo 2 mL da solução de extração (Dimetilsulfóxido (DMSO) saturado com  $\text{CaCO}_3$ ). Os tubos foram mantidos no escuro por 48 h e, em seguida, incubados em banho-maria a 65 °C por 30 min. As leituras de absorvância foram feitas em espectrofotômetro a 665, 649 e 480 nm. Por fim, os discos foliares foram lavados para retirar o excesso de solução de extração e, após secos em estufa a temperatura de 60 °C por 48 h, foi determinada a massa seca em balança de precisão. Os conteúdos de clorofila *a*, *b* e *total* foram estimados por meio das seguintes fórmulas:

$$C_a = (12,47 \times A_{665}) - (3,62 \times A_{649});$$

$$C_b = (25,06 \times A_{649}) - (6,5 \times A_{665});$$

$$C_t = (7,15 \times A_{665}) + (18,71 \times A_{649});$$

Em que *A* representa a absorvância em um respectivo comprimento de onda, sendo os valores obtidos expressos em  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  de matéria fresca (MF).

## 5.6 **Análise estatística dos dados**

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F (ANOVA) e, quando significativos, foi realizada a análise de regressão. O programa estatístico utilizado foi o SISVAR® versão 5.3 (FERREIRA, 2010) e os gráficos foram produzidos utilizando-se o programa Sigma Plot versão 11.0 (SYSTAT SOFTWARE, 2006).

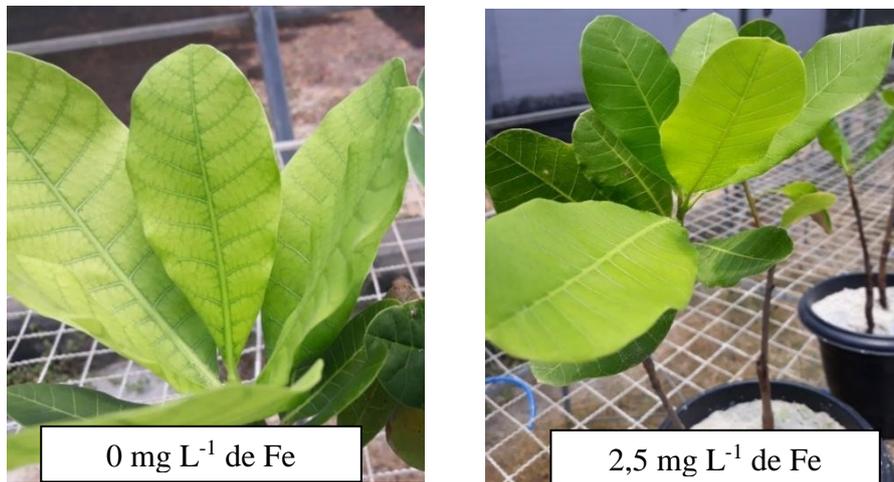
## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Sintomas visuais de deficiência de ferro

Sintomas visuais de clorose férrica surgiram primeiro nas plantas que não receberam ferro ( $0 \text{ mg L}^{-1}$  de Fe) aos 27 dias após o início da aplicação dos tratamentos (Figura 3). As folhas jovens apresentaram inicialmente clorose internerval com reticulado fino (nervuras com coloração verde escura), enquanto a porção do limbo compreendida entre as nervuras apresentava-se amarelada. Com a intensificação da deficiência, as plantas tornaram-se cloróticas-esbranquiçadas, com redução do seu crescimento (Figura 4). Plantas supridas com doses mais elevadas apresentaram folhas com coloração verde-pálido e verde intenso (Figura 5).

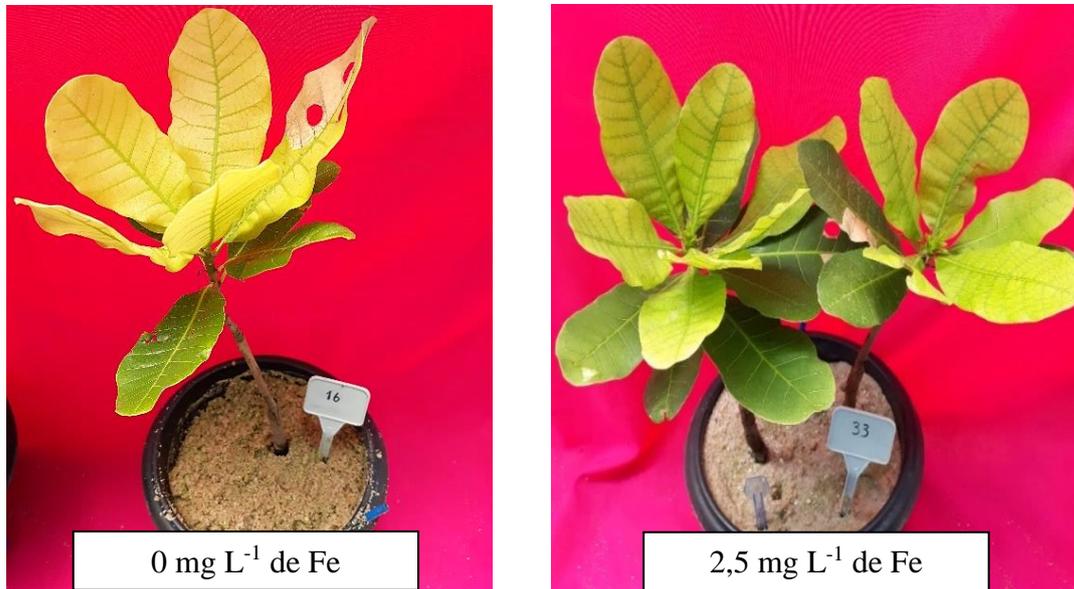
Folhas cloróticas se mostraram mais espessas do que folhas verdes. De acordo com Maldonado et al. (2006), as folhas cloróticas são mais espessas que as verdes devido ao aumento do comprimento e espessura do parênquima paliçádico e esponjoso.

Figura 3 - Sintomas visuais de clorose férrica em mudas de cajueiro-anão aos 27 dias após o início dos tratamentos



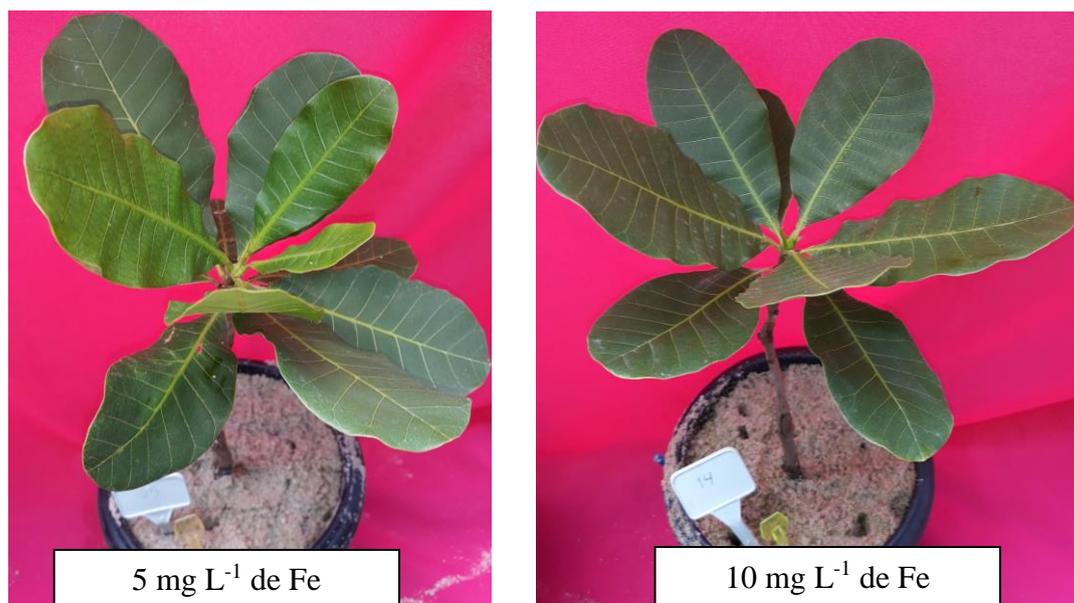
Fonte: Autor (2018)

Figura 4 - Sintomas visuais de deficiência de ferro, em mudas de cajueiro-anão, aos 90 dias após o início dos tratamentos (doses 0 e 2,5 mg L<sup>-1</sup> de Fe)



Fonte: Autor (2018)

Figura 5 - Mudanças de cajueiro-anão aos 90 dias após o início dos tratamentos (doses 5 e 10 mg L<sup>-1</sup> de Fe)

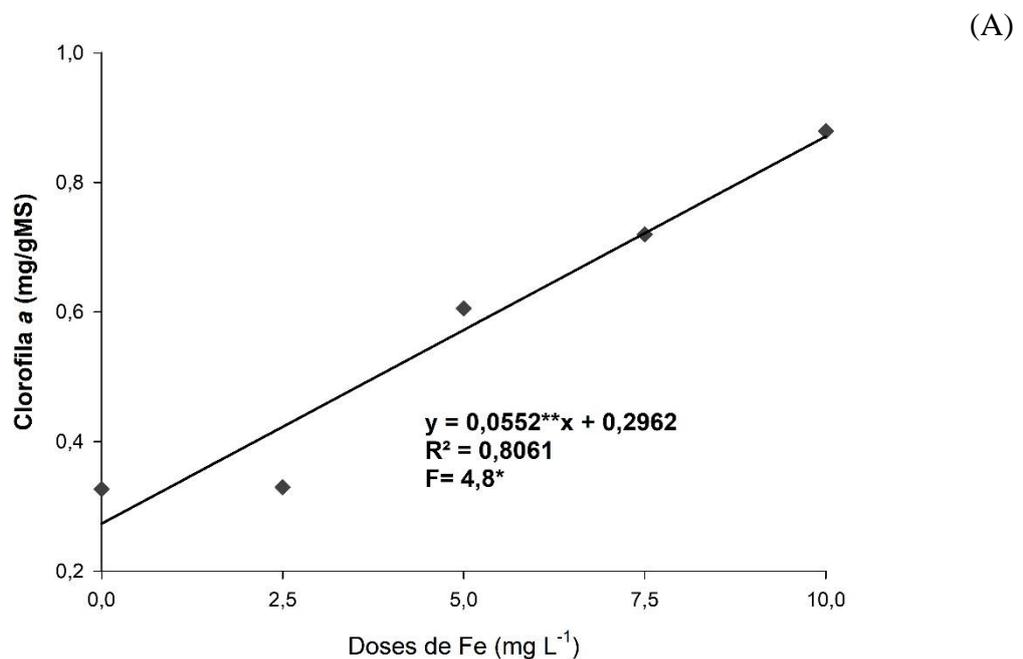


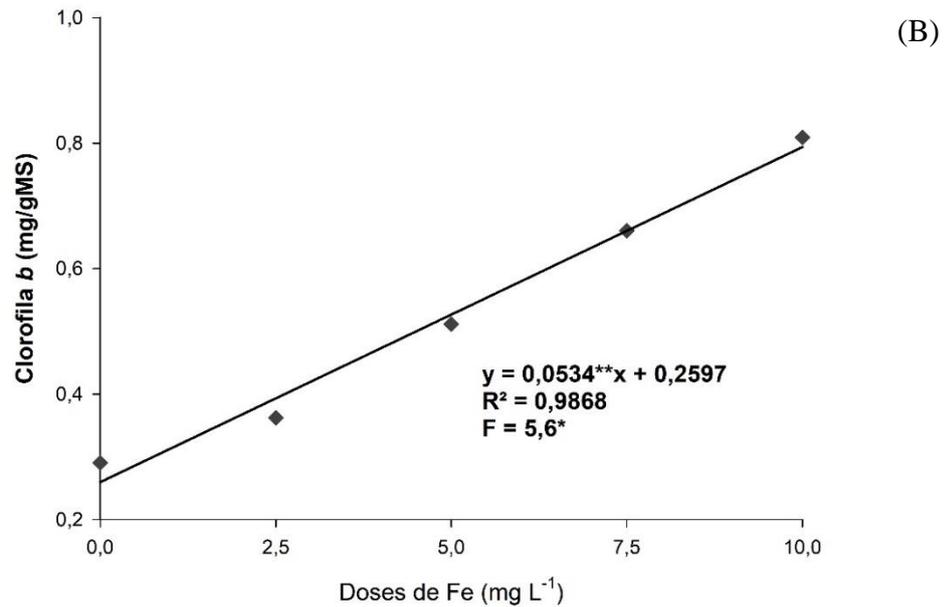
Fonte: Autor (2018)

## 6.2 Clorose férrica no conteúdo de clorofilas *a*, *b* e total

Os teores de clorofila *a* e *b* de mudas de cajueiro-anão foram influenciados pelas doses de Fe aplicadas à solução nutritiva (Apêndice A), assim como observado em outros estudos (Morales 1990, Rombolá et al., 2002, Chakraborty et al., 2012), sugerindo que o teor desse micronutriente relaciona-se diretamente com a formação das clorofilas. O aumento progressivo das doses de Fe promoveu o aumento linear no teor de clorofilas *a* e *b* em mudas de cajueiro, atingindo valor máximo de 0,85 e 0,79 mg/gMS, respectivamente, na dose 10 mg L<sup>-1</sup> de Fe. Plantas cloróticas, relativas aos tratamentos 0 mg L<sup>-1</sup> de Fe, apresentaram o menor teor de clorofilas (*a* e *b*), exibindo, ao final do ensaio, teores de 65,08% e 67,28%, respectivamente, menores que na maior dose (Figuras 6A e 6B).

Figura 6 - Conteúdo de *clorofila a* (A) e *clorofila b* (B) de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe

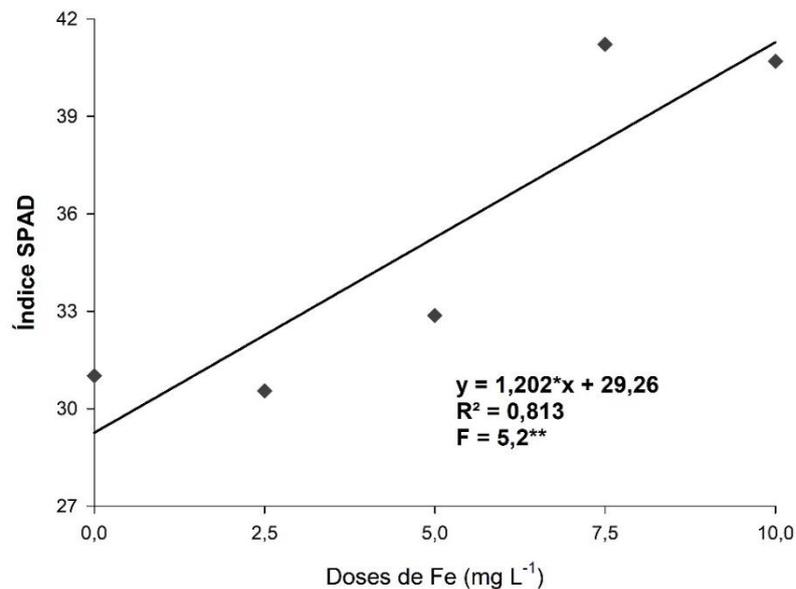




\*Significativo  $P < 0,05$ .

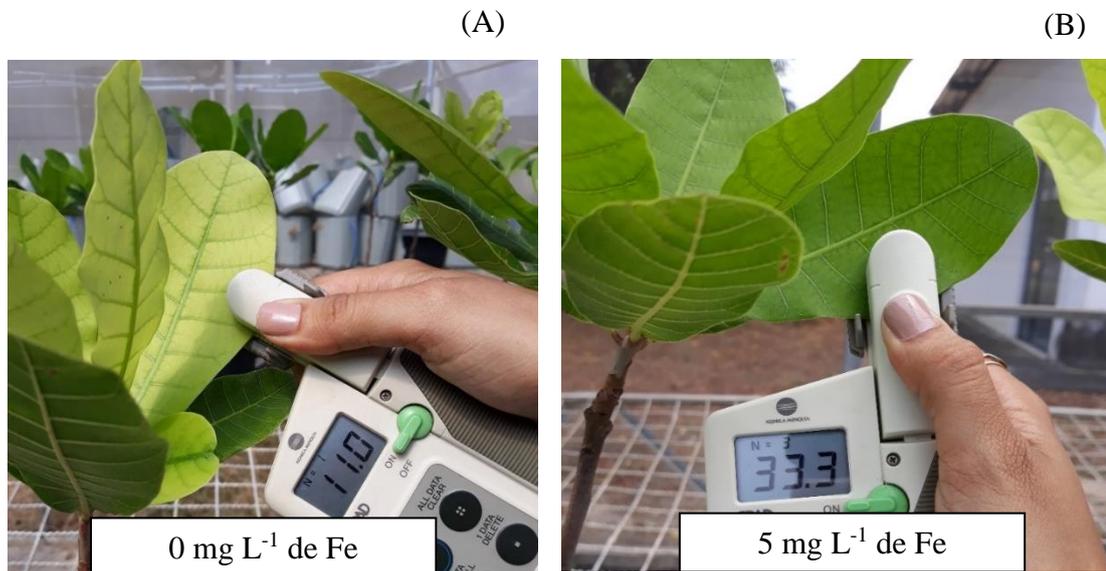
A variação da clorofila *total* nas mudas de cajueiro-anão, ao final do ensaio, está apresentada na figura 7. Diferenças significativas no conteúdo de clorofila *total* foram observadas apenas a partir da 4<sup>a</sup> data de leitura SPAD (Apêndice A). Pelos resultados verifica-se que o teor *total* de clorofila aumentou com as doses de Fe, atingindo o valor máximo de 41,28 na dose 10 mg L<sup>-1</sup> de Fe (Figura 7). As doses mais baixas, 0 e 2,5 mg L<sup>-1</sup> de Fe, foram as que proporcionaram menor conteúdo de clorofila foliar, sendo neste caso, observado sintomas visuais de deficiência.

Figura 7 - Teor relativo de clorofila (índice SPAD) em mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe



\*\*Significativo  $P < 0,01$ .

Figura 8 - Índice SPAD e em folhas cloróticas (A) e não-cloróticas (B) de cajueiro-anão em função de doses de Fe



Fonte: Autor (2018)

Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Chakraborty et al. (2012), que verificaram em pereira deficiente em Fe, redução significativa nas leituras SPAD, bem como no teor *total* de clorofila das folhas, conforme se intensificou a clorose férrica. Winder e Nishio (1995) constataram em trabalho com beterraba sacarina que a deficiência de ferro acarretou mudanças relacionadas a redução no conteúdo de clorofila foliar. Pestana et al. (2005), ao avaliarem porta-enxertos de *citrus*, observaram redução na concentração de clorofila, em plantas cultivadas na ausência de Fe. A redução do conteúdo de clorofilas nas folhas novas é a característica comum de plantas deficientes em ferro, sendo o principal fator associado ao papel fundamental do Fe na formação do ácido  $\delta$ -aminolevulínico (ALA), precursor comum da síntese de clorofila foliar (MARSCHNER, 2012).

Além disso, alguns estudos demonstram que a deficiência de Fe ocasiona danos no conteúdo e estrutura dos cloroplastos. Chouliaras et al. (2004) estudando concentrações de Fe em *citrus* observaram deterioração progressiva dos cloroplastos à medida que a clorose férrica se tornou mais aguda. Em seu experimento, também com *citrus*, Maldonado et al. (2006) encontraram cloroplastos de folhas cloróticas com estrutura desorganizada: formato alongado, grânulos de amido escassos e dobras em forma de buracos na membrana tilacóide. Em contrapartida, nas folhas verdes, foi encontrada estrutura típica do cloroplasto: forma oblonga,

tilacóides empilhados em um espaço amplo, grana bem desenvolvida e presença de grânulos de amido.

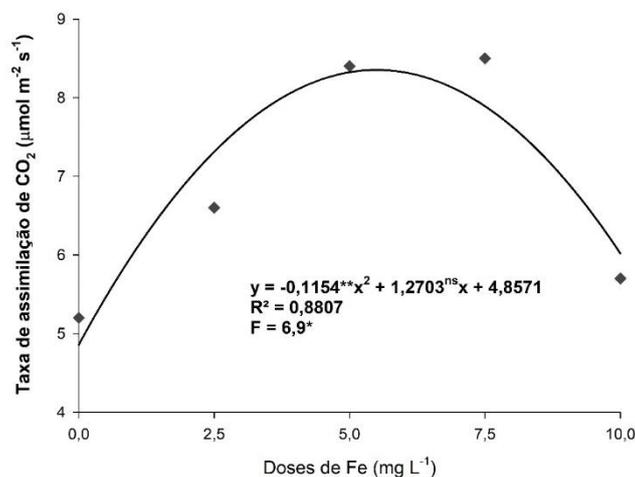
Uma possível explicação para isso é que a deficiência de ferro diminui a atividade de enzimas antioxidantes, como catalase e peroxidase, resultando no aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROS) e causando estresse oxidativo (CHOULIARAS et al., 2004). Os cloroplastos são especialmente sensíveis aos efeitos tóxicos de espécies reativas de oxigênio, uma vez que a produção de espécies reativas leva a peroxidação dos lipídios de sua membrana (SHARMA et al., 2001).

### 6.3 Clorose férrica nas variáveis de trocas gasosas

Verifica-se a partir dos resultados (Apêndices A, B e C) que as doses de ferro afetaram significativamente as variáveis: taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*) ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática (*gs*) ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), transpiração (*E*) ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (concentração interna de carbono (*C<sub>i</sub>*) (Pa), relação entre concentração interna e externa de carbono (*C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>*), taxa de transporte de elétrons (ERT) ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), eficiência instantânea de carboxilação (EIC<sub>i</sub>) ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$ ) eficiência do uso da água (EUA) [ $(\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1})$ ] e eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) [ $(\mu\text{mol CO}_2 (\text{mol H}_2\text{O})^{-1})$ ].

As doses de ferro promoveram aumento quadrático da taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (Apêndice A; Figura 9). A taxa fotossintética aumentou até a dose 5,5 mg L<sup>-1</sup> de Fe, atingindo o valor estimado de 8,35  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . A dose menor, 0 mg L<sup>-1</sup> de Fe, resultou na menor taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>.

Figura 9 - Taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (*A*) de mudas de cajueiro-anão em função das doses de Fe



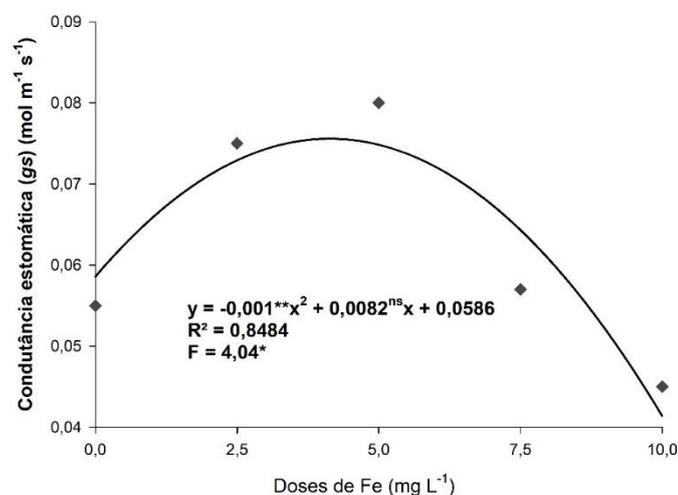
\*Significativo  $P < 0,05$ .

As menores taxas fotossintéticas em doses próximas a 0 mg L<sup>-1</sup> de Fe, são em parte, explicadas pelo menor conteúdo de clorofila foliar observado nessa dose (Figuras 6 e 7). Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Pestana et al. (2005), que verificaram relação entre a diminuição da capacidade fotossintética em *citrus* sob deficiência de ferro e o baixo teor de pigmentos fotossintéticos. Resultados semelhantes foram relatados por Chouliaras et al. (2004), que ao avaliar *citrus* deficientes em Fe, observaram reduções na fotossíntese das plantas com menor conteúdo de pigmentos fotossintéticos. Para os autores, essa redução pode estar relacionada com a diminuição da atividade das enzimas no estroma, como teor de Rubisco e ferredoxina e, também, com a redução na formação de membrana dos tilacóides no cloroplasto, no número de tilacóides por granum e nas taxas de transporte de elétrons.

Outra razão para baixas taxas fotossintéticas em plantas deficientes em Fe é a redução dos parâmetros derivados da fluorescência (Fv'/Fm', FSII, e ETR). Covarrubias et. al (2006) ao avaliarem a tolerância de porta-enxertos de videira à deficiência de Fe, observaram que houve diminuição na eficiência do FS II (Fv'/Fm'), devido às mudanças na cadeia de transporte de elétrons, além disso, houve modificações estruturais do FS II. Por outro lado, a queda na fotossíntese de mudas de cajueiro-anão recebendo doses excessivas de Fe pode estar diretamente relacionada com a baixa formação de poder redutor (NADPH<sub>2</sub> e ATP) e com o comprometimento de reações de carboxilação (MARSCHNER, 2012).

As doses de Fe influenciaram na condutância estomática de mudas de cajueiro-anão, com ajuste ao modelo quadrático (Apêndice B; Figura 10).

Figura 10 - Condutância estomática (gs) de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe



\*\*Significativo P<0,05.

A condutância estomática aumentou até a dose de 4,1 mg L<sup>-1</sup> de Fe, atingindo o valor máximo estimado de 0,075 mol m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>. Com a elevação das doses de 4,1 até 10 mg L<sup>-1</sup> de Fe verificou-se redução na condutância estomática, de até 45,87%. Na dose de estresse severo (0 mg L<sup>-1</sup> de Fe) o grau de abertura dos estômatos foi cerca de 21,87 % menor do que o estimado no ponto de máximo, relacionado com 4,1 mg L<sup>-1</sup> de Fe.

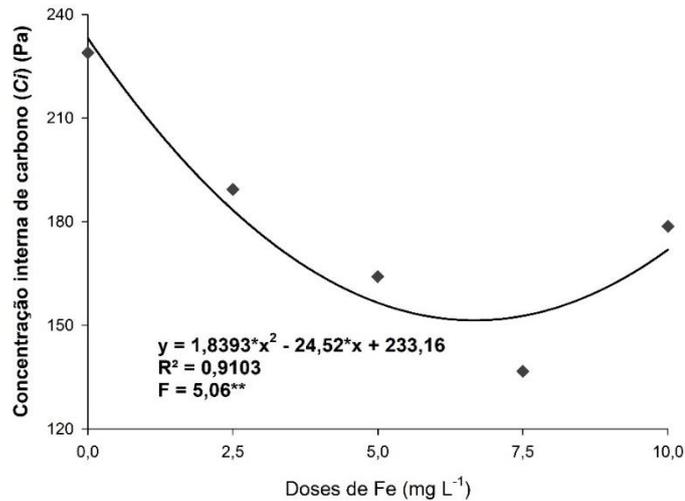
A regulação estomática deve operar para assegurar equilíbrio apropriado na absorção de CO<sub>2</sub> para a fotossíntese, a fim de controlar a quantidade de carbono interno para a capacidade de carboxilação e regeneração da ribulose 1,5 bifosfato, bem como a perda de água por transpiração. Quando submetidas à condição de estresse, as plantas fecham os estômatos como forma de defesa contra a perda de água, aumentando assim a resistência e diminuindo a condutância estomática (TAIZ; ZEIGER, 2004). O fechamento estomático, neste estudo, nas doses abaixo e acima de 4,1 mg L<sup>-1</sup> de Fe, resultou em menor influxo de CO<sub>2</sub> para o interior da folha, reduzindo com isso o substrato para a atividade da Ribulose 1,5 bifosfato carboxilase/oxigenase, com conseqüente diminuição das taxas de assimilação de carbono (Figura 9). Esses resultados podem indicar o efeito negativo no desempenho dos estômatos foliares sob estresse de ferro.

Para Fernández et al (2008), a diminuição no comprimento dos poros estomáticos é, também, resultante da redução no crescimento das folhas e nos processos de expansão. As expansões da superfície foliar acontecem por meio do alargamento celular longitudinal e com os estômatos se diferenciando durante o desenvolvimento. Folhas cloróticas reduzem a expansão de folhas e o número absoluto de estômatos por folha, porém, mantém a densidade estomática, sugerindo que o Fe afeta a diferenciação estomática, uma vez que esse processo é sensível às variações ambientais, incluindo o equilíbrio nutricional da planta.

É notável que, em condições de excesso de Fe, o genótipo de cajueiro-anão apresentou maior decréscimo em *g<sub>s</sub>* (Figura 10), refletindo em limitações na fotossíntese (Figura 9). Pereira et al. (2014) sugeriram que o ácido abscísico (ABA) pode estar envolvido na limitação estomática da fotossíntese, como parte da resposta da planta ao excesso de Fe e ao estresse oxidativo.

Relações antagônicas foram observadas entre as doses de ferro e a concentração interna de CO<sub>2</sub> (*C<sub>i</sub>*), com ajuste ao modelo quadrático (Figura 11).

Figura 11 - Concentração interna de carbono ( $C_i$ ) em mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe

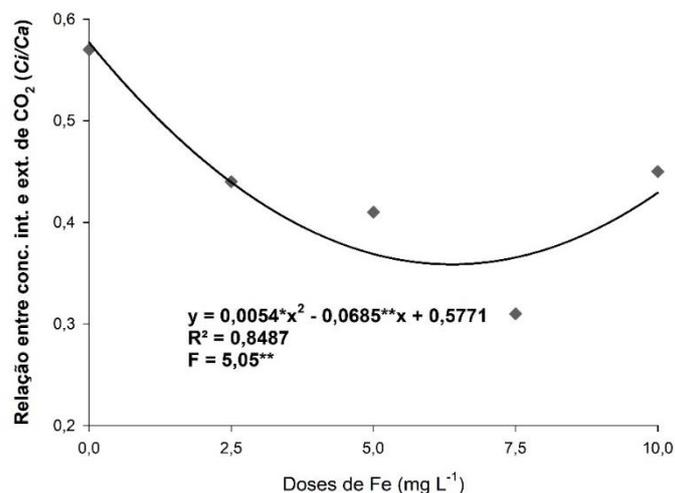


\*\*Significativo  $P < 0,01$ .

Nas mudas de cajueiro a concentração interna de  $CO_2$  diminuiu até a dose de 6,6 mg L<sup>-1</sup>, atingindo valor mínimo de 151,44 Pa (Figura 11). As folhas deficientes em Fe apresentaram maiores valores de  $C_i$ , atingindo 233,16 Pa em plantas severamente cloróticas (dose 0 mg L<sup>-1</sup> de Fe). Esses resultados corroboram os obtidos por Larbi et al. (2006) que observaram em folhas de beterraba sacarina deficientes em Fe, um progressivo aumento na concentração interna de  $CO_2$ , com maiores valores de  $C_i$  nas folhas extremamente cloróticas.

As doses de Fe também influenciaram a relação entre as concentrações interna e externa de carbono (Apêndice A). A relação entre as concentrações interna e externa de  $CO_2$  ( $C_i/C_a$ ) diminuiu, até a dose 6,2 mg L<sup>-1</sup>, atingindo valor de 0,36 (Figura 12).

Figura 12 - Relação entre concentração interna e externa de carbono ( $C_i/C_a$ ) de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe



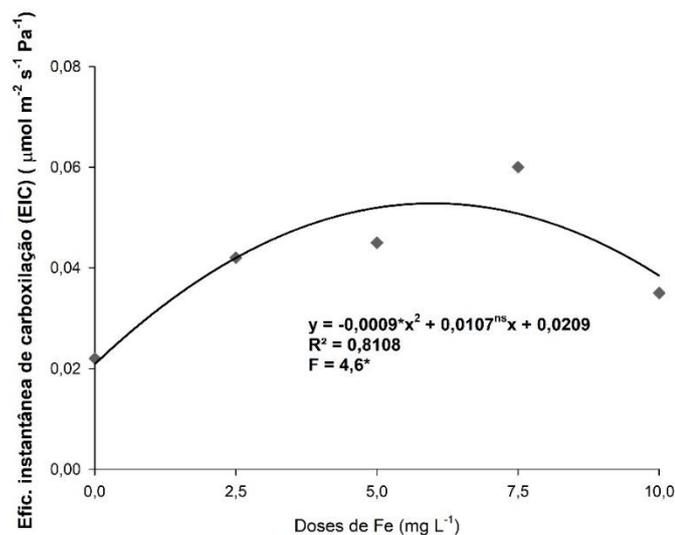
\*\*Significativo  $P < 0,01$ .

Esses resultados indicam que o aumento na dose de Fe resultou em incremento na fixação de CO<sub>2</sub> e, em menor concentração de *Ci*, implicando que nesta dose ocorreu fixação de carbono de forma mais eficiente. As máximas relações *Ci/Ca* (0,58 e 0,44) foram obtidas em plantas cloróticas nas doses 0 e 2,5 mg L<sup>-1</sup> de Fe.

Os altos valores de *Ci*, em relação a *Ca* em plantas deficientes em Fe, sugerem que a fotossíntese nessas plantas foi também limitada por fatores não estomáticos. Verificou-se aumento de *Ci* nas mudas de cajueiro sob deficiência de Fe, a despeito da diminuição de *g<sub>s</sub>*. Caso não ocorra queda na atividade metabólica da fixação de CO<sub>2</sub>, é esperada diminuição na concentração interna de CO<sub>2</sub> (*Ci*), quando diminui *g<sub>s</sub>* (RASCHKE, 1979). Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Larbi et al. (2006) que, ao avaliarem beterraba, pereira e pessegueiro sob doses de Fe, observaram aumento de *Ci* em plantas deficientes. Os autores, ao observar as taxas fotossintéticas *versus* concentração sub-estomática de CO<sub>2</sub> (*A/Ci*), concluíram que a limitação estomática não foi a principal causa das menores taxas fotossintéticas, uma vez que aumentos em *Ca* (e, portanto, no *Ci*) levaram a fotossíntese ainda baixa em relação as plantas-controle. Isso corrobora com a afirmação de que o decréscimo na concentração de Fe altera, principalmente, o metabolismo fotossintético da folha.

A eficiência instantânea de carboxilação (EIC) foi influenciada pelas doses de Fe aplicadas na solução nutritiva (Apêndice C; Figura 13).

Figura 13 - Eficiência instantânea de carboxilação (EIC) de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe



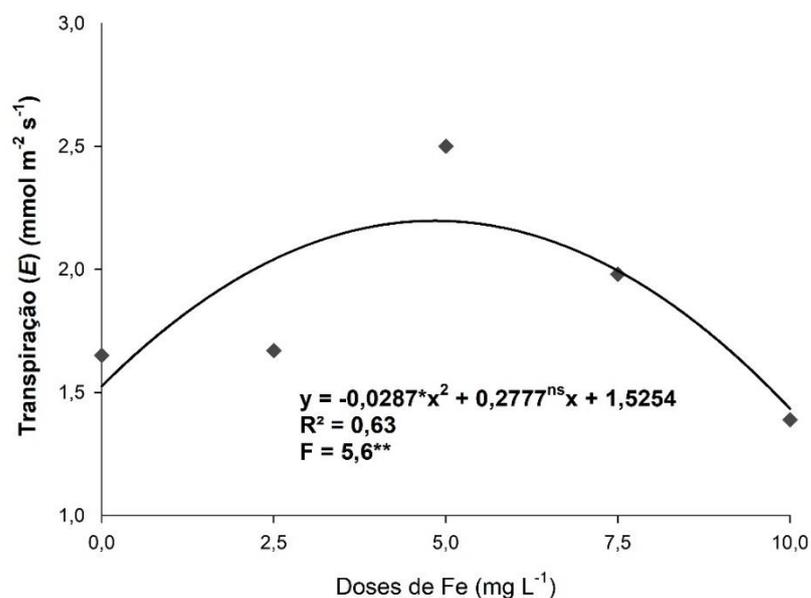
\*Significativo P<0,05.

Pelos resultados, a maior eficiência de carboxilação ( $0,053 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$ ) foi obtida na dose estimada de  $5,9 \text{ mg L}^{-1}$  de Fe. Plantas severamente cloróticas e cloróticas tiveram, respectivamente, valores de EIC de  $0,021$  e  $0,042 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$  (Figura 13).

Baixa eficiência de carboxilação em plantas deficientes em Fe estão associadas a atividade ineficiente da Rubisco. Larbi et al. (2006), ao avaliarem folhas de pereira, pessegueiro e beterrabeira, encontraram evidências para a existência de altas correlações entre a eficiência aparente de carboxilação da Rubisco e a deficiência de Fe, de três espécies crescendo em condições muito diferentes. Em estudo anterior, Winder e Nisho (1995) também verificaram que a principal consequência da deficiência de Fe foi a redução na eficiência de carboxilação desta enzima, devido a diminuição da ativação e da regulação negativa de sua expressão gênica. Os autores verificaram que níveis de proteína e mRNA das subunidades da enzima foram reduzidos na mesma medida em que a atividade da Rubisco foi reduzida.

A transpiração ( $E$ ) das mudas de cajueiro-anão foi influenciada pelas doses de Fe aplicadas (Apêndice A). Pelos resultados, verifica-se que a maior taxa de transpiração ( $2,20 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) foi observada na dose máxima de  $4,8 \text{ mg L}^{-1}$  de Fe (Figura 14). A transpiração foi marcadamente baixa em condições de deficiência e excesso de Fe. As taxas de transpiração mais baixas encontradas foram de  $1,53$  e  $1,43 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , nas doses  $0$  e  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de Fe, respectivamente (Figura 14).

Figura 14 - Transpiração ( $E$ ) de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe

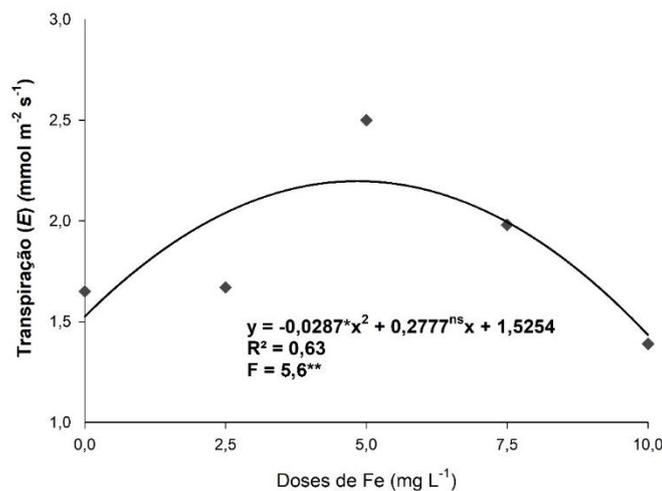


\*Significativo  $P < 0,01$ .

Cimen et al. (2014) também verificaram baixas taxa de transpiração em porta-enxerto de *citrus* deficientes em Fe, neste caso, diminuições na condutância estomática também foram observadas. De acordo com Fernández et. al (2008) a estimativa gravimétrica das perdas de água das folhas cloróticas fornece evidências de que as folhas cloróticas perdem água mais rapidamente do que as folhas adequadamente supridas.

As doses de Fe influenciaram a eficiência de uso da água (EUA) (Apêndice C). A eficiência de uso da água aumentou até a dose estimada em  $8,6 \text{ mg L}^{-1}$ , atingindo valor máximo de  $4,02 [(\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1})]$  (Figura 15). Em contrapartida, folhas severamente cloróticas apresentaram menor eficiência de uso da água, atingindo o valor mínimo de  $2,8 [(\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1})]$  na dose  $0 \text{ mg L}^{-1}$  de Fe. Resultados semelhantes foram encontrados por Cimen et al. (2014) que verificaram em porta-enxerto de *citrus*, deficientes em Fe, maior perda de água em relação as plantas-controle.

Figura 15 - Eficiência instantânea do uso da água (EUA) de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe



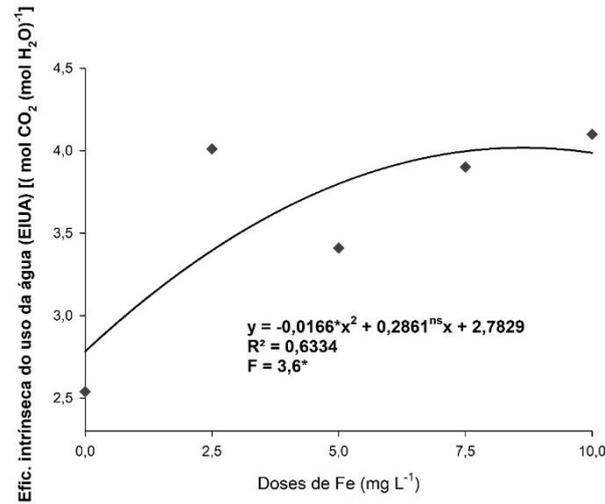
\*\*Significativo  $P < 0,01$ .

Mais água foi transpirada por unidade de carbono ganho, em resposta a deficiência de Fe, devido ao fato de que a deficiência de Fe causa maiores decréscimos nas taxas fotossintéticas (A) do que na transpiração (E), resultando em baixa eficiência de uso da água. EUA representa a quantidade de água evapotranspirada para a produção de certa quantidade de matéria seca por uma cultura. Dessa forma, plantas cloróticas, com baixa eficiência no uso da água, produzem menos matéria seca por grama de água transpirada.

A eficiência intrínseca (EIUA) do uso da água foi influenciada pelas doses de Fe (Apêndice C). Pela análise de regressão, a maior eficiência intrínseca no uso da água foi obtida na dose máxima estimada em  $6,8 \text{ mg L}^{-1}$  (Figura 16). EIUA define que para uma abertura

estomática equivalente, o cajueiro sob estresse de Fe possui um determinado valor de fotossíntese; as reduções nas duas relações (EUA e EIUA) também indicam que a queda em  $g_s$  foi apenas um dos fatores que levaram a diminuição na taxa fotossintética.

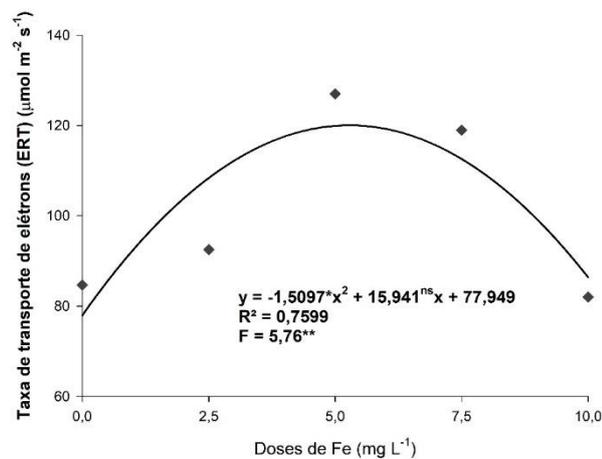
Figura 16 - Eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe



\*Significativo  $P < 0,05$ .

A taxa de transporte de elétrons apresentou comportamento quadrático, sendo a dose estimada de 5,3 mg L<sup>-1</sup> de Fe a que promoveu o valor máximo de 120,03  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figura 17). As menores taxas de transporte de elétrons foram obtidas nas doses 0 e 10 mg L<sup>-1</sup> de ferro (77,95 e 86,39  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente) (Figura 17).

Figura 17 - Taxa de transporte de elétrons (ERT) de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe



\*\*Significativo  $P < 0,01$ .

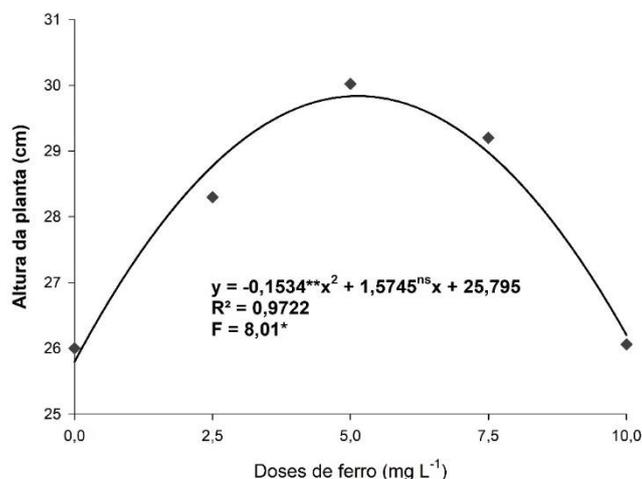
A principal explicação para a inativação da atividade de transporte de elétrons está relacionada as proteínas expostas a superfície dos tilacóides. Tilacóides de plantas cloróticas, apresentam uma perda específica de polipeptídios necessários para o funcionamento adequado da maquinaria fotossintética. A redução desses polipeptídios resulta em inibição na atividade do fotossistema II, indicando que esta redução é uma das principais razões da perda significativa da evolução de O<sub>2</sub> induzida pela deficiência de Fe (BERTAMINI et. al, 2001).

## 6.4 Clorose férrica nas variáveis de crescimento

### 6.4.1 Altura da planta

A altura das mudas de cajueiro foi influenciada pelas doses de Fe na solução nutritiva, com ajuste ao modelo de regressão quadrático (Apêndice D; Figura 18). Pelo estudo de regressão, a maior altura das plantas (29,83 cm) foi obtida na dose máxima estimada em 5,1 mg L<sup>-1</sup> de Fe (Figura 18). Doses abaixo desta promoveram menor crescimento, com sintomas visuais de deficiência e doses acima desta também promoveram menor crescimento das mudas de cajueiro-anão, porém, sem manifestar sintomas de toxidez. Resultados semelhantes foram encontrados por (PESTANA; VARENNE; ABADI, 2005) que, avaliando doses de Fe na produção de porta-enxertos de *citrus*, observaram menor altura em plantas cultivadas sem Fe ou com menor nível de Fe.

Figura 18 - Altura de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe



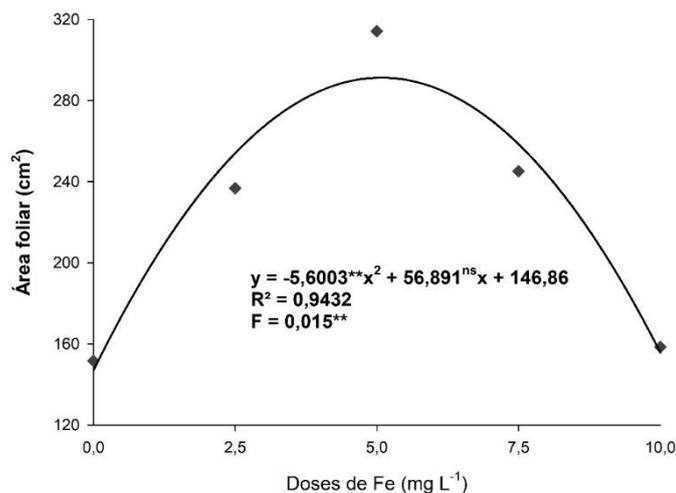
\*Significativo P<0,05.

A influência do Fe na altura do cajueiro até a dose 5,1 mg L<sup>-1</sup> pode ser atribuída à sua função no metabolismo da planta, como componente de sistemas enzimáticos que regulam atividades bioquímicas, tomando parte na síntese de proteínas; sem Fe há menos RNA e menor taxa de síntese de proteínas relacionadas ao crescimento.

#### 6.4.2 Área foliar

As doses de Fe influenciaram a área foliar das mudas de cajueiro (Apêndice D). Área foliar aumentou até a dose máxima 5,08 mg L<sup>-1</sup> de Fe, atingindo o valor máximo de 292,34 cm<sup>2</sup> (Figura 19). Doses abaixo e acima da máxima induziram uma menor área foliar. A área foliar de plantas severamente e moderadamente cloróticas (0 e 2,5 mg L<sup>-1</sup> de Fe) foi até 51% e 24,7%, respectivamente, menor do que o estimado no ponto de máximo, relacionado com 5,08 mg L<sup>-1</sup> de Fe.

Figura 19 - Área foliar de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe



\*Significativo P<0,01.

De acordo com Fernández et al (2008) a explicação para a redução da área foliar em plantas deficientes em Fe é que, a clorose férrica pode dificultar ou parar os processos de desenvolvimento foliar. Este comportamento está relacionado a redução observada nos lipídios solúveis. Os lipídios são necessários para o crescimento adequado das folhas e sua síntese pode ser afetada em folhas com clorose férrica. Assim, a deficiência de Fe afeta a formação da cutícula foliar devido a produção limitada de material lipídico.

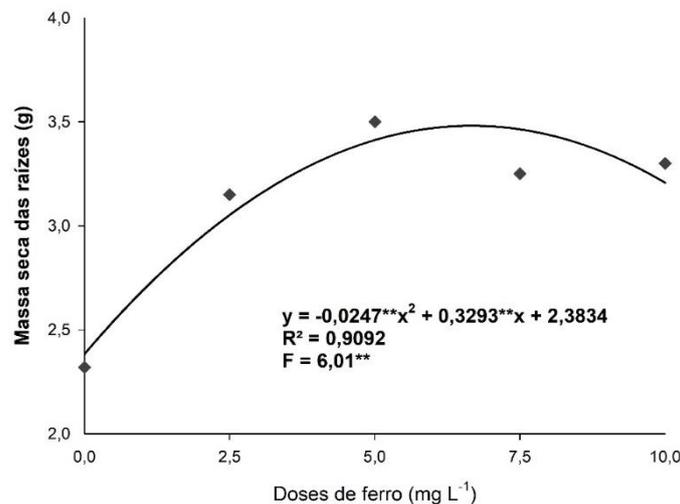
Sob condições de estresse de Fe, portanto, a síntese de clorofila é prejudicada porque o Fe foi inicialmente mal translocado para as folhas que permanecem pequenas; isto é

provavelmente devido à baixa taxa de fotossíntese que ocorre em plantas cloróticas, o que causa também o crescimento lento e curto da parte aérea.

### 6.4.3 Massa seca de raízes, parte aérea e total

As doses de Fe influenciaram o acúmulo de massa seca das raízes de mudas de cajueiro (Apêndice D). A massa seca aumentou até a dose máxima de 6,6 mg L<sup>-1</sup> de Fe, atingindo valor máximo de 3,49 g (Figura 20). O menor acúmulo de massa seca correspondeu a menor dose de Fe.

Figura 20- Massa seca de raízes de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe



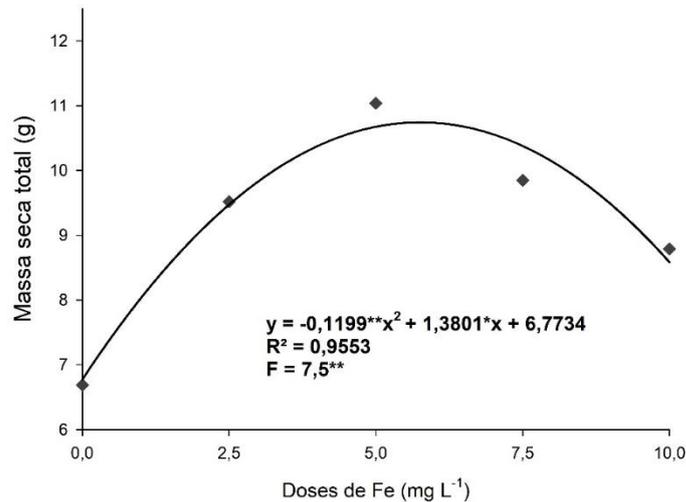
\*Significativo  $P < 0,01$ .

Esse comportamento foi verificado também por Pestana et al. (2005) que, avaliando doses de Fe na produção de porta-enxertos de *citrus*, observaram menor acúmulo de massa seca das raízes em mudas de plantas que receberam baixas doses de Fe. Espécies eficientes, quando submetidas a deficiência, apresentam maior relação raízes/parte aérea (ABADIA et al., 1995). A capacidade de ajustar a relação raízes/parte aérea é um mecanismo característico de espécies eficientes em Fe, em que o aumento dessa razão não só pode elevar a quantidade de sítios de absorção, mas, também, diminuir a necessidade total de Fe.

A massa seca total foi influenciada pelas doses de Fe aplicadas (Apêndice D). Pela análise de regressão, verifica-se que o ferro promoveu maior acúmulo de massa seca total, com

valor máximo de 10,75 g na dose de 5,7 mg L<sup>-1</sup> de Fe. Na dose 0 mg L<sup>-1</sup> e 10 mg L<sup>-1</sup> de Fe, observa-se a menor produção de massa seca total das mudas de cajueiro (Figura 21).

Figura 21 - Massa seca total de mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe



\*Significativo P<0,01.

Lombardi (2003) ao avaliarem porta-enxertos de pêsego observaram redução de até 43% no peso seco, quando a deficiência de Fe foi exposta ao meio. O peso seco de plântulas sob deficiência induzida de Fe (cultivadas sob bicarbonato) também foi reduzido em até 60%.

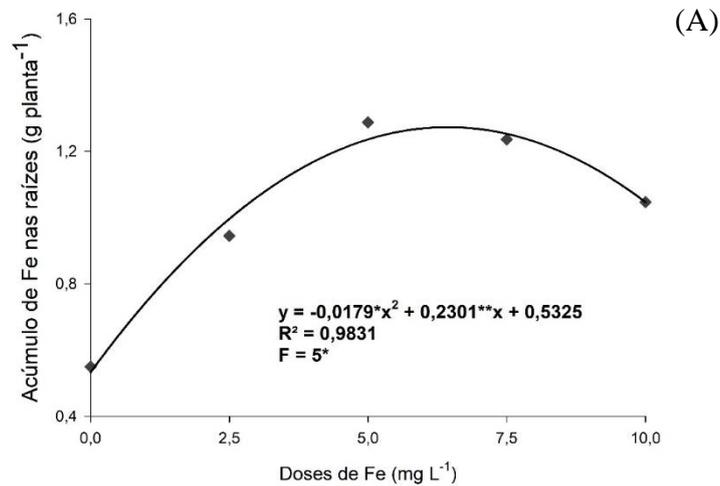
Em mudas de Mangostão, Viegas et al. (2018) verificaram que o Fe foi o micronutriente mais limitante na produção de massa seca total da planta. Esse resultado pode ser atribuído ao importante papel do Fe como ativador enzimático, assim como enxofre e nitrogênio, são constituintes da formação de proteínas, essenciais na atividade metabólica, tendo função mais estrutural na planta (MARSCHNER, 2012).

### 6.5 Acúmulo e eficiência nutricional de mudas de cajueiro-anão

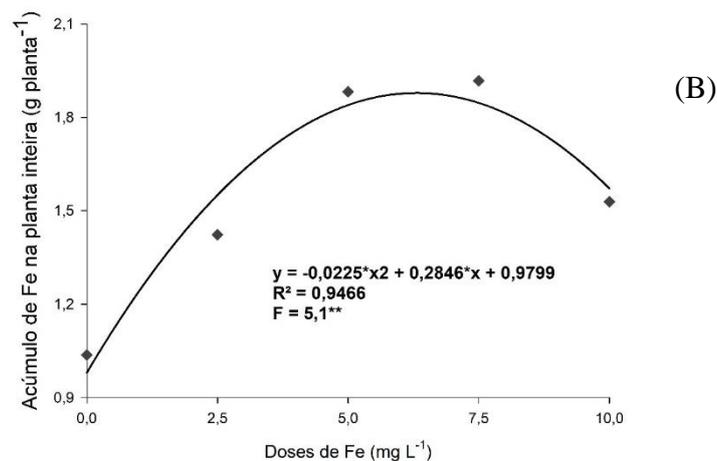
As mudas de cajueiro submetidas às doses de Fe apresentaram respostas diferenciadas de acúmulo nas partes das plantas, bem como com o nutriente estudado (Apêndices E, F e G). Os acúmulos de Fe nas raízes e na planta inteira apresentaram comportamento quadrático (Figuras 22A e 22B). O máximo acúmulo de Fe, nas raízes e na planta foi obtido nas doses 6,4 e 6,3 mg L<sup>-1</sup> de Fe, respectivamente. Apesar de a razão raiz/parte aérea não ter sido afetada pelas doses de Fe, a partir dos resultados pode-se concluir que o cajueiro acumula preferencialmente o Fe nas raízes em relação a parte aérea (Apêndices E e F).

Esse maior acúmulo de Fe nas raízes pode ser explicado pela baixa eficiência de transporte de Fe do sistema radicular para a parte aérea, observado no genótipo de cajueiro-anão 'BRS 226' (CAVALCANTE JÚNIOR et al., 2019).

Figura 22 - Acúmulo de Fe nas raízes (A) e na planta inteira (B) em mudas de cajueiro-anão adubados com Fe



\*Significativo P<0,05.



\*Significativo P<0,01.

Estudos comprovam que plantas eficientes em Ferro acumulam Fe no espaço livre aparente das raízes, ativando-o e transportando-o, em caso de deficiência (HAN et al., 1998). Os resultados de acúmulo de Fe nas raízes, associados a baixa eficiência de transporte, possivelmente indicam que o cajueiro é inábil em realizar tal mobilização, sob deficiência de Fe. Isso apoia a visão proposta por Wallace e Mueller (1976) de que a clorose pode estar relacionada a uma falha na translocação de Fe das raízes para folhas, ao invés da capacidade das raízes para acumular Fe. (ZHA et al., 2014) ao avaliarem espécies de maçã sensíveis e tolerante à deficiência de Fe verificaram que sob condição de estresse a espécie tolerante

aumentou significativamente a expressão de genes ligados a absorção e transporte de Fe; em contraste, não foram observadas modificações na expressão desses genes pela espécie sensível, resultando em menor absorção e transporte de Fe por essas plantas.

O acúmulo de Fe na parte aérea (caule + folhas) não foi influenciado pelas doses de Fe (Apêndice E). A razão para isso, é que não apenas a concentração de Fe, mas também os valores de crescimento e peso específico da planta, diminuem com a clorose, resultando em efeito de diluição de Fe na planta. Em plantas verdes com aplicação de Ferro, o acúmulo de Fe é diluído; em contraste, em plantas cloróticas sem Fe, a diluição é menos pronunciada, devido a inibição do crescimento e da expansão foliar.

Alguns estudos sugerem que a deficiência de Fe esteja relacionada a falta de Fe na forma ativa na planta. O Fe está presente nas plantas na forma de complexos, que variam em suas constantes de estabilidade. Quando ocorre deficiência de Fe os compostos de Fe de baixa estabilidade podem se decompor e são possivelmente transformados em compostos de alta estabilidade. A maioria dos compostos de  $Fe^{3+}$  são mais estáveis que os de  $Fe^{2+}$ . Portanto, sob deficiência de Fe, possivelmente há falta de ferro na forma  $Fe^{2+}$  ( KATYAL; SHARMA, 1980).

Na parte aérea, folhas cloróticas, apresentaram baixo acúmulo de Fe, expresso em matéria seca conforme a tabela 1.

Tabela 1 - Valores médios dos acúmulos totais de Fe em folhas de mudas de cajueiro-anão adubados com Fe

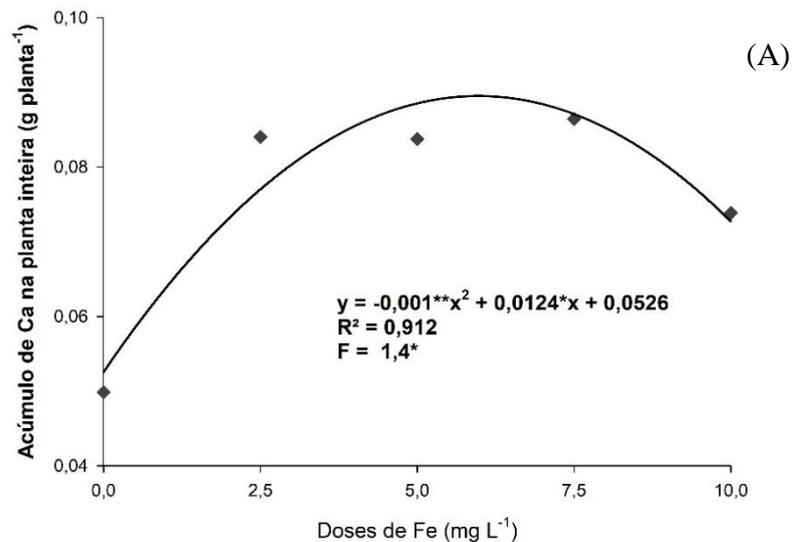
Doses de Fe	Fe total nas folhas
mg L <sup>-1</sup>	----- mg planta <sup>-1</sup> -----
0	0,046
2,5	0,105
5	0,154
7,5	0,054
10	0,070
Teste F	3,62*
CV%	53%

Os acúmulos de P (parte aérea, raízes e planta inteira), N (parte aérea, raízes e planta inteira), Mg (parte aérea, raízes e planta inteira), Ca (raízes), S (planta inteira e parte aérea) não foram influenciados pelas doses de Fe (Apêndices E, F e G). As concentrações de P e Mg não diferiram significativamente em qualquer dose aplicada. Belkhodja (1998) também

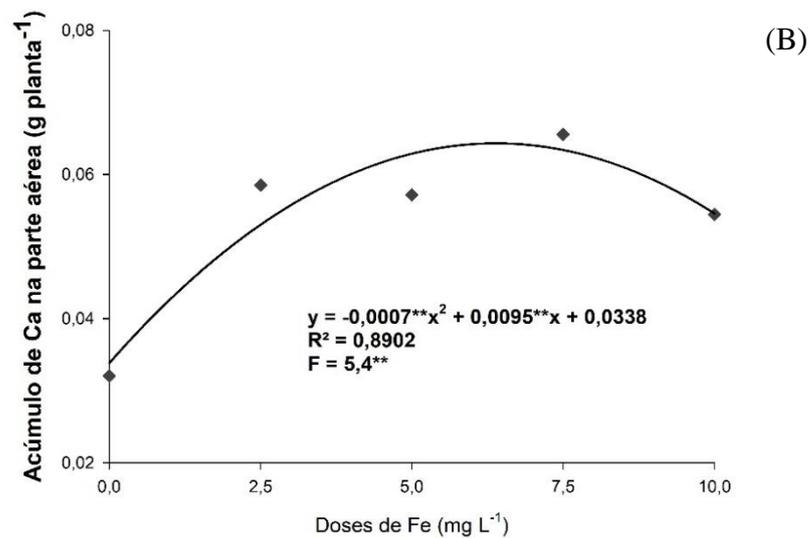
relataram que a clorose férrica não afetou significativamente as concentrações de P nas folhas de pereira.

As doses de Fe influenciaram os acúmulos de Ca e K, com ajuste ao modelo quadrático. O acúmulo de Ca na planta inteira e na parte aérea aumentou até o valor máximo nas doses 6,2 mg L<sup>-1</sup> e 6,8 mg L<sup>-1</sup> de Fe respectivamente (Figuras 23A e 23B).

Figura 23 - Acúmulo de Ca na planta inteira (A) e parte aérea (B) em mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe



\*\*Significativo P<0,05.

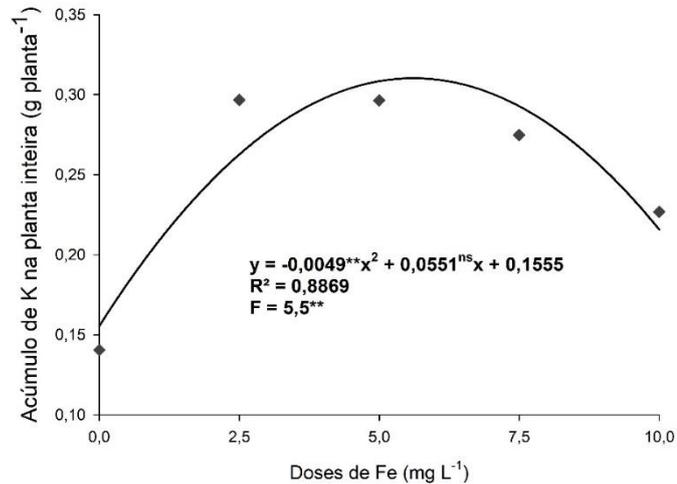


\*\*Significativo P<0,01.

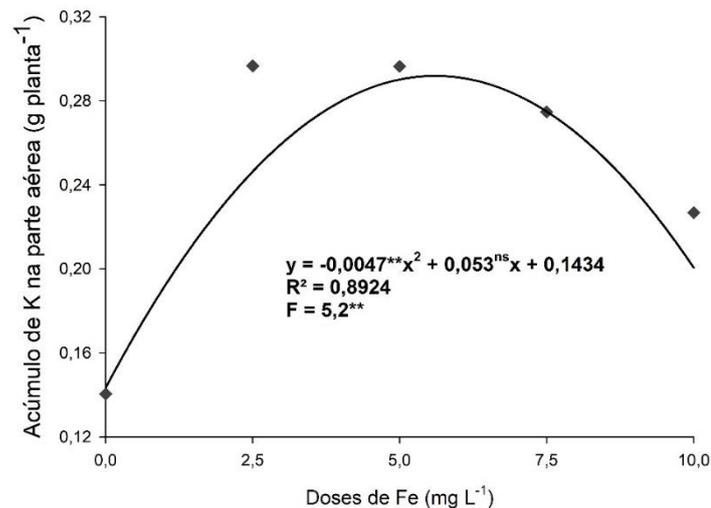
O K teve seu acúmulo estimulado pelo ferro até a dose de 5,6 mg L<sup>-1</sup> tanto na parte aérea quanto na planta inteira, sendo reduzido a partir de doses acima deste valor (Figuras 24A e 24B).

Figura 24 - Acúmulo de K na planta inteira (A) e parte aérea (B) em mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe

(A)



\*\*Significativo P<0,01.



(B)

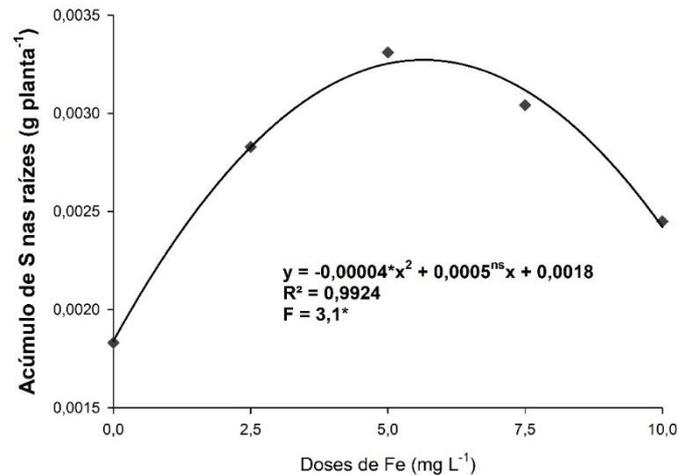
\*\*Significativo P<0,01.

Em relação ao acúmulo de K, encontraram altas concentrações do nutriente em folha de pereira cloróticas. De acordo com Pestana et. al. (2005), quando o Fe está em quantidade insuficiente, as plantas podem permanecer indiferentes (ineficientes) ou ativar mecanismos fisiológicos de resposta (eficientes).

As altas concentrações de K podem resultar da atividade de Atpases da membrana plásmatica das raízes envolvidas na excreção de prótons, favorecendo a absorção de K e o acúmulo de ácidos orgânicos. Para manter o equilíbrio eletroquímico, o excesso de K absorvido é compensado por uma liberação de H<sup>+</sup> das raízes; como resultado, o pH externo diminui, favorecendo assim, a absorção de Fe.

O acúmulo de S nas raízes se ajustou ao modelo quadrático, atingindo valor máximo de 0,00336 g/planta na dose estimada em 6,2 mg L<sup>-1</sup> de Fe (Figura 25)

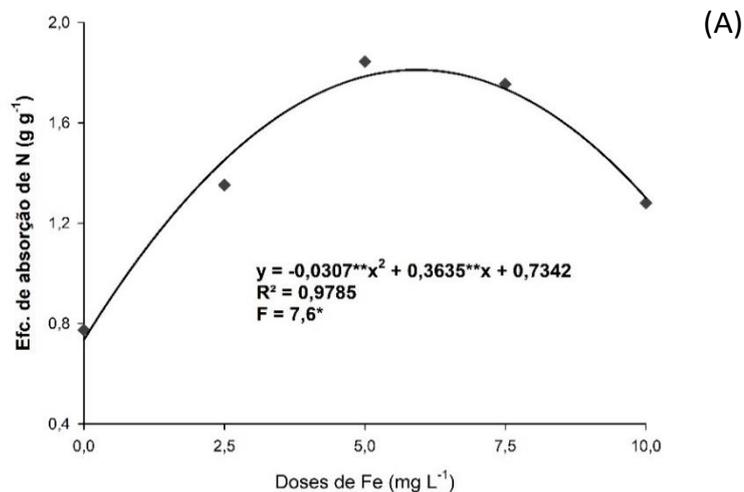
Figura 25 - Acúmulo de S nas raízes em mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe



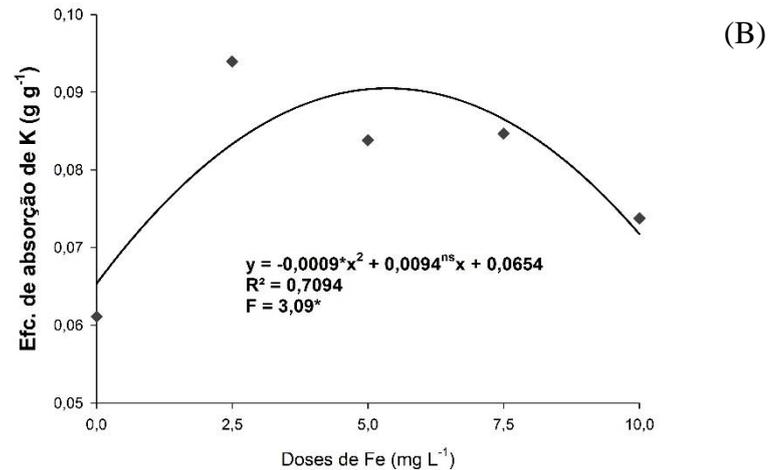
\*Significativo P<0,05.

A eficiência de absorção dos nutrientes (EA) pelas raízes de cajueiro-anão, não foi influenciada pelas doses de Fe (Apêndice H), exceto em relação ao N e ao K, em que a absorção foi maior nas doses 5,9 e 5,2 mg L<sup>-1</sup> de Fe, respectivamente (Figura 26A e 26B). Nessas doses, as plantas absorveram 1,8 e 0,09 g de N e de K por grama de matéria seca, comparado à ausência de Fe.

Figura 26 - Eficiência de absorção de N (A) e K (B) em mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe



Significativo P<0,05

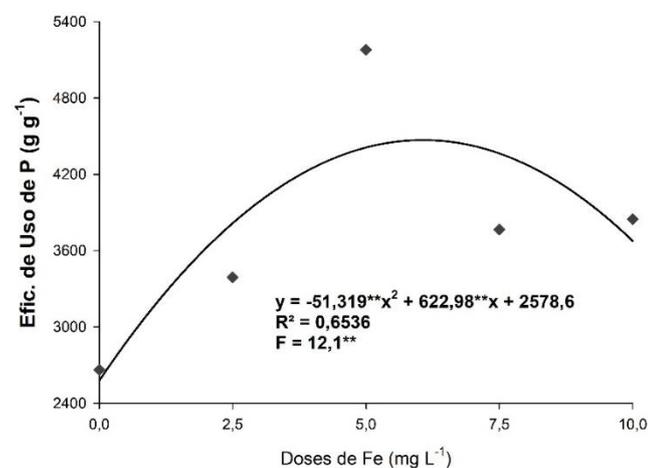


\*\*Significativo  $P < 0,05$ .

O genótipo de cajueiro não apresentou diferenças significativas para a eficiência de transporte dos nutrientes em nenhuma dose avaliada (Apêndice I). Considerando que a eficiência de transporte é a relação entre os nutrientes acumulados na parte aérea e em toda planta, era esperado que a maior eficiência estaria em plantas que apresentassem menor razão raiz/parte aérea; como não houve diferença nessa razão, justifica-se a eficiência de transporte não ter diferido em função das doses.

A eficiência de uso de N, P, S e Ca foi afetada pelas doses de Fe (Apêndice J). O Fe promoveu aumento significativo sobre a eficiência de uso de P, sendo a maior eficiência obtida com a dose de 6,07 mg L<sup>-1</sup> de Fe; em doses maiores, o Fe diminuiu a eficiência de utilização do P (Figura 27). Tal resultado indica que para cada grama de P acumulado foram produzidas 9 g de matéria seca.

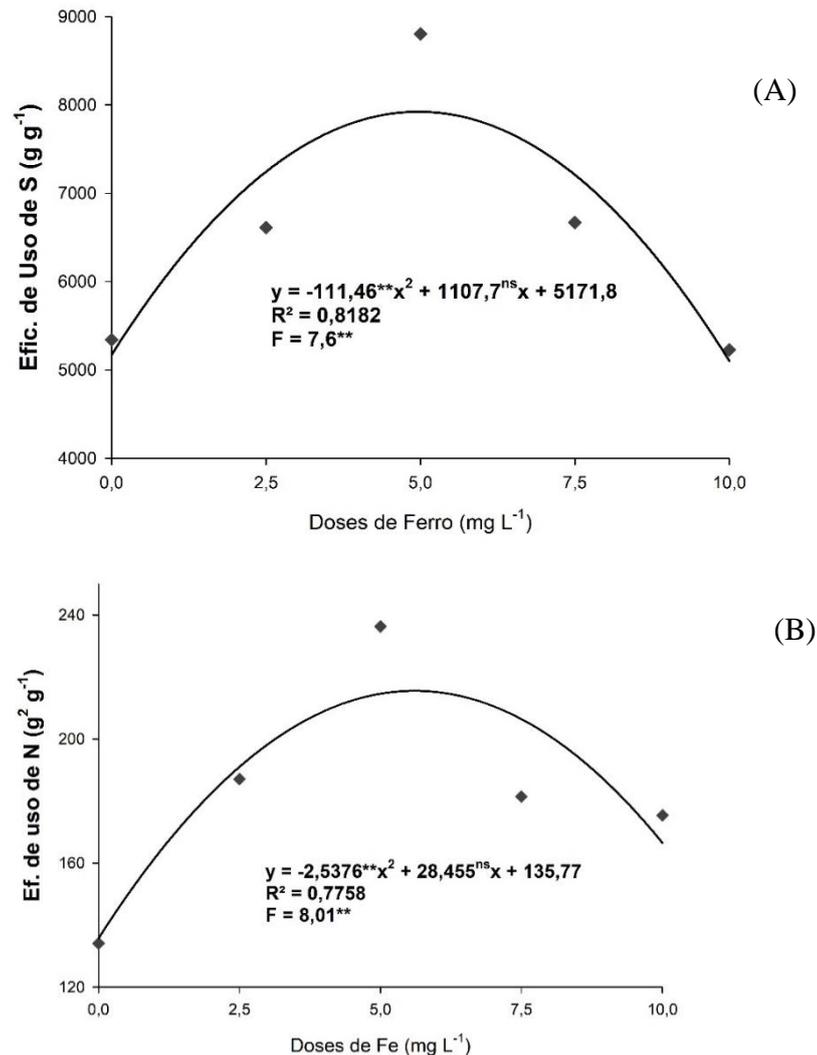
Figura 27 - Eficiência de utilização de P por mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe



\*\*Significativo  $P < 0,01$ .

As doses de Fe afetaram a eficiência de utilização de N e S em mudas de cajueiro, com ajuste ao modelo quadrático (Apêndice J; Figuras 28A e 28B). O ferro promoveu aumento na eficiência de uso de S e N, sendo a maior eficiência obtida com as doses 4,9 mg L<sup>-1</sup> e 5,6 mg L<sup>-1</sup> de Fe.

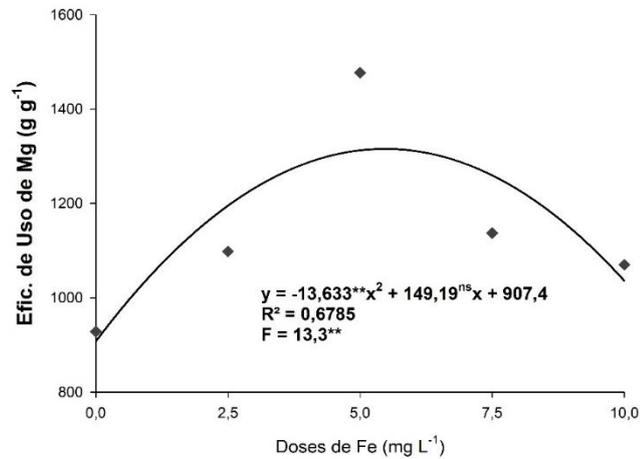
Figura 28 - Eficiência de utilização de S (A) e N (B) por mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe



\*\*Significativo P<0,01.

A eficiência de utilização do Mg foi influenciada de forma quadrática pelas doses de Fe aplicadas na solução nutritiva, decrescendo em doses mais elevadas (Figura 29). A máxima eficiência de utilização do Mg foi atingida na dose de 5,5 mg L<sup>-1</sup> de Fe. Esses resultados indicam que doses abaixo e acima de 5,5 mg L<sup>-1</sup> reduzem a produção de matéria seca por grama de Mg absorvido.

Figura 29 - Eficiência de utilização de Mg por mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe

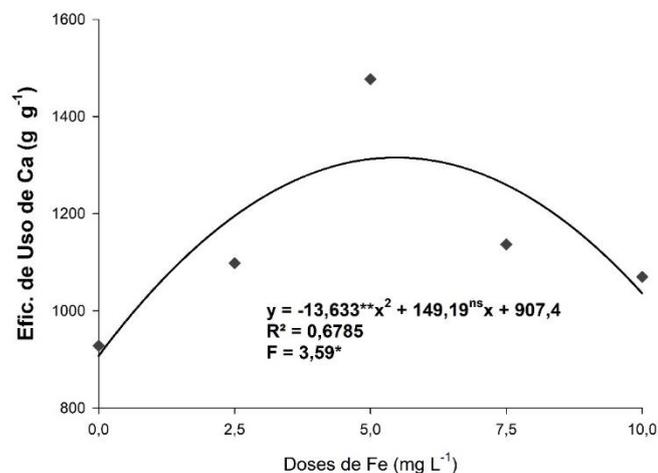


\*\*Significativo  $P < 0,01$ .

O fato de que o genótipo 'BRS 226' obteve maior produção de matéria seca total na dose 5,7 mg L<sup>-1</sup> de Fe (Figura 21), explica a superioridade na eficiência de utilização obtida nessa dose, já que plantas com maiores taxas de utilização de nutrientes convertem melhor em biomassa os nutrientes absorvidos e acumulados (CAVALCANTE Jr et al., 2019). Tal fato ocorre, porque em condições de deficiência e excesso de ferro, a produção de biomassa pelas plantas não sofre incremento na mesma proporção que a absorção e o acúmulo do nutriente nos tecidos, havendo, nesse caso, declínio no uso interno do nutriente para a produção de biomassa (SIDDIQI; GLASS, 1981).

As doses de Fe influenciaram a eficiência de uso do Ca (Apêndice J). Pela análise de regressão, verifica-se que o Fe reduziu a eficiência de uso do cálcio em até 40% (Figura 30).

Figura 30 - Eficiência de utilização de Ca por mudas de cajueiro-anão em função de doses de Fe



\*\*Significativo  $P < 0,05$ .

Isso indica que plantas deficientes em Fe apresentam menor habilidade em converter em biomassa o nutriente absorvido. Os resultados de conteúdo total de Ca nas mudas de cajueiro e de matéria seca total indicam que a taxa de aumento ou decréscimo dessas variáveis foi diretamente proporcional aos valores de eficiência de uso de Ca. Portanto, a dose 5,5 mg de Fe proporcionou melhor vigor nutritivo e vegetativo, resultando em maior produção de matéria seca e EUCa.

A inativação de Ca devida à ligação e, ou, precipitação na forma de oxalato ou fosfato de cálcio, tem sido sugerida como causa para a baixa eficiência de utilização do nutriente. A alta eficiência de Ca em tomateiro foi associada à habilidade da planta em manter alta proporção de Ca total na forma solúvel e manter o crescimento e metabolismo em todas as partes da planta, mesmo sob baixas concentrações de Ca. Em contrapartida a ineficiência no uso de Ca foi atribuída a altas concentrações de Ca insolúvel nos tecidos da parte aérea das plantas (Behling et al., 1989).

## **7 CONCLUSÕES**

O genótipo de cajueiro-anão ‘BRS 226’, não é exigente em Fe, já que grande parte das variáveis avaliadas promoveram resposta máxima, dentro da faixa de dose indicada na solução de Hoagland.

O genótipo de cajueiro-anão ‘BRS 226’ (porta-enxerto ‘CCP 06’) apresentou boa capacidade de absorver Fe e acumular nas raízes; em contraste, demonstrou baixa eficiência de transportar Fe das raízes para a parte aérea, independente da dose aplicada.

## REFERÊNCIAS

- ABADÍA, J., et al. Mineral composition of peach leaves affected by iron chlorosis. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v, 8, n. 10, p. 965-975, 1985.
- AGARWAL, S. C., SHARMA, C. P.; FAROOQ, S. Effect of iron supply on growth, chlorophyll, tissue iron and activity of certain enzymes in maize and radish. **Plant Physiology**, Estados Unidos, v. 40, p. 493–499, 1965.
- LIMA, V. P. M. S. **Cultura do cajueiro no Nordeste do Brasil**. 1. ed., Banco do Nordeste do Brasil, Fortaleza, p. 195- 230, 1988.
- BAVARESCO, L; FREGONI, M; PERINO, A. Physiological aspects of lime-induced chlorosis in some *Vitis* species. I. Pot trial on calcareous soil. **Vitis**, [s.l.], v. 33, n. 2, p. 123-126, 1994.
- BEEJMOHUN, V. et al. Cashew apple extract inhibition of fat storage and insulin resistance in the diet-induced obesity mouse mode. **Journal of Nutritional Science**, England, v.4, p. 1-9, 2015.
- BELKHODJA, R. et al. Iron deficiency in peach trees: effects on leaf chlorophyll and nutrient concentrations in flowers and leaves. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 203, n. 2, p. 257-268, 1998.
- BENNETT, J. P. Iron in leaves. **Soil Science**, [s. l.], v. 60, n. 2, p. 91-106, 1945.
- BERTAMINI, M.; NEDUNCHEZHIAN, N.; BORGHI, B. Effect of iron deficiency induced changes on photosynthetic pigments, ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase, and photosystem activities in field grown grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir) leaves. **Photosynthetica**, República Tcheca, v. 39, n. 1, p. 59-65, 2001.
- BOYER, R. F.; CLARK, H. M.; L. A. ROCHE, A.P. Reduction and release of ferritin iron by plants phenolics. **Journal of Inorganic Biochemistry**, New York, v. 32, p. 171- 181, 1988.
- BRIAT, J. F.; CURIE, C.; GAYMARD, F. Iron utilization and metabolism in plants. **Current Opinion in Plant Biology**, United Kingdom, v.10, p.276–282, 2007.
- BROADLEY, M., et al. "Function of nutrients: micronutrients." *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. **Academic Press**, Reino Unido, p. 191-248, 2012.
- CARMO, C. A. F. et al. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Embrapa Solos - Circular Técnica (INFOTECA-E), 2000.
- CAVALCANTE JUNIOR, L. F. et al. Nutrient accumulation and nutritional efficiencies of cashew genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 0, n. 0, p. 1–7, 2019.
- CHAKRABORTY, B. et al. Assessment of the recovery of physiological status in iron deficient low-chill peach plants with SPAD meter. **Research Journal of Agricultural Science**, [s. l.], n. 3, p. 156-158, 2012.

CHAKRABORTY, B. et al. Evaluation of different iron sources for iron chlorosis recovery in low-chill peach cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 37, n. 2, p. 224-231, 2014.

CHOULIARAS, V. et al. Effect of Iron Deficiency on Gas Exchange and Catalase and Peroxidase Activity in Citrus. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 27, n. 12, 2004.

CIMEN, B., et al. Growth and photosynthetic response of young 'Navelina' trees budded on to eight citrus rootstocks in response to iron deficiency." **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, New Zealand, v. 42, n. 3, p. 170-182, 2014.

COVARRUBIAS, J. I.; PISI, A.; ROMBOLÁ, A. D. Evaluation of sustainable management techniques for preventing iron chlorosis in the grapevine. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, Australia, v. 20, n. 1, p. 149–159, 2006.

CRISÓSTOMO, L. A.; NAUMOV, A. **Adubando para alta produtividade e qualidade: fruteiras tropicais do Brasil**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, p. 50-66. 2009.

SERRANO, L. A. L.; PESSOA, P.F.A.P DE. Aspectos econômicos da cultura do cajueiro. **Sistema de produção do caju**. 2. ed. Fortaleza, 2016.

FALADE, J. A. Uptake of Mn, Zn and Fe by cashew (*Anacardium occidentale* L.) as influenced by some macronutrients." **Ghana Journal of Agricultural Science**, 1980.

FERNANDÉZ, V. Leaf structural changes associated with iron deficiency chlorosis in field-grown pear and peach: physiological implications. **Plant Soil**, Netherlands, v. 311, p. 161–172, 2008.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Científica Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36- 41, 2008.

FREITAS, B. M. et. al. **Plano de manejo para polinização da cultura do cajueiro: conservação e manejo de polinizadores para agricultura sustentável, através de uma abordagem ecossistêmica**, Rio de Janeiro: FUNBIO, 2014.

HAAG, H. P. et al. Nutrição mineral do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.): I – Deficiência dos macronutrientes: nota prévia. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v. 32, p. 185-190,1975.

HAN, Z. H. et al. Iron absorption by iron-efficient and inefficient species of apples. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 21, n. 1, p. 181–190, 1998.

HELL, R.; STEPHAN, U.W. Iron uptake, trafficking and homeostasis in plants. **Planta**, Berlin, v. 216, p. 541-551, 2003.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The water-culture method for growing plants without soil. **Circular. California Agricultural Experiment Station**, v. 347, 2. ed. 1950.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE – SIDRA (Sistema IBGE de Recuperação Automática). **Levantamento Sistemático da produção Agrícola**. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp>. Acesso em: 15 agosto. 2018.

JACOBSON, L.; OERTLI, J. J. The relation between iron and chlorophyll contents in chlorotic sunflower leaves. **Plant physiology**, Estados Unidos, v. 31, n. 3, p. 199, 1956.

KATYAL, J. C.; B. D. SHARMA. A new technique of plant analysis to resolve iron chlorosis. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 55 n.1, p. 105-119, 1980.

LARBI, A. et al. Down corregulation of light absorption, photochemistry, and carboxylation in Fe-deficient plants growing in different environments. **Photosynthesis Research**, [s. l.], v. 89, p. 113–126, 2006.

LEITE, D. F. de L. **Consumo e digestibilidade aparente de dietas com níveis crescentes do subproduto do caju em ovinos**. 2013. 35 f. Dissertação (Mestrado em Produção animal) - Programa de Pós-Graduação em Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Norte Animal, Macaíba, 2013.

LI, Y.L. et al. Overexpression of AtFRO6 in transgenic tobacco enhances ferric chelate reductase activity in leaves and increases tolerance to iron-deficiency chlorosis. **Molecular Biology Reports**, [s l.], v. 38, p. 3605–3613.

LOMBARDI, L.; SEBASTIANI, L.; VITAGLIANO, C. Physiological, biochemical, and molecular effects of in vitro induced iron deficiency in peach rootstock. **Plant Nutrition**, Estados Unidos, v. 26, p. 2149-2163, 2003.

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

MALDONADO, T. R. et al. Morphological changes in leaves of Mexican lime affected by iron chlorosis. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 29, n. 4, p. 615-628, 2006.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3ª ed. London: Academic Press, 672 p, 2012.

MARSCHNER, H.; ROHMELD, V. Strategies of plants for acquisition of iron. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 165, p. 378-388, 1995.

MONTENEGRO, A. A. T.; VIDAL NETO, F. das C.; SERRANO, L. A. L. *In*: MONTENEGRO, et al. **Plantio, manejo e comercialização da cultura do cajueiro anão precoce**. Fortaleza: Instituto Frutal, 2011. p. 15-23.

MORALES F.; ABADFA, A.; ABADIA, J. Characterization of the xanthophyll cycle and other photosynthetic pigment changes induced by iron deficiency in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). **Plant Physiology**, Estados Unidos, v. 94, p. 607-613, 1990.

MORALES, F.; ABADÍA, A.; ABADÍA, J. Photosynthesis, quenching of chlorophyll fluorescence and thermal energy dissipation in iron-deficient sugar beet leaves. **Functional Plant Biology**, Austrália, v. 25, n. 4, p. 403-412, 1998.

NIKOLIC, M.; PAVLOVIC, J. Plant Responses to Iron Deficiency and Toxicity and Iron Use Efficiency in Plants. *In*: HOSSAIN, M.A.; KAMIYA, T.; BURRITT, D. J.; PHAN TRAN, L. S.; FUJIWARA, T. (Eds). **Plant Micronutrient Use Efficiency**. 1. ed. [s. l.], 2018. p. 55-69. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780128121047/plant-micronutrient-use-efficiency>. Acesso em: 17 jun. 2018.

OLIVEIRA, V. H. Produção, pós-colheita e processamento. *In*: OLIVEIRA, V. H.; MESQUITA, A. L. M.; SILVA, E. de. O.; PAIVA, F. F. de A.; SILVA NETO, R. M. da. **Cajucultura: produção, processamento e certificação**. Fortaleza: Instituto Frutal, 2005, p. 8-16.

PÉREZ-SANZ, A.; LUCENA, J. J. Synthetic iron oxides as sources of Fe in a hydroponic culture of sunflower. **Iron Nutrition in Soils and Plants**, Dordrecht, p. 241-246, 1995.

PESTANA, M.; VARENNES, A. DE; ABADI, J. Differential tolerance to iron deficiency of citrus rootstocks grown in nutrient solution. **Scientia Horticulturae**, Holanda, v. 104, p. 25–36, 2005.

PRADO, R. M.; VARA, E. A. Influência de formas de nitrogênio e do pH na correção da deficiência de ferro no girassol. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 34, n. 1, p. 212-219, 2011.

RASCHKE, K. "Movements of stomata. *In*: HAUPT, W.; FEINLEIB, M. E. (Eds). Physiology of movements. **Encyclopedia of Plant Physiology**. Nova Iorque, 1979, v. 7, p. 383–441.

RENGEL, Z. Genotypic differences in micronutrient use efficiency in crops. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Estados Unidos, v. 32, n. 7-8, p. 1163-1186, 2001.

ROMBOLÁ, A. D. et al. Biochemical responses of tolerance to Fe deficiency in kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). **Tree Physiology**, Reino Unido, v. 22, p. 869-876, 2002.

RÖMHELD, V., NIKOLIC, M. Iron. *In*: BARKER, A.V., PILBEAM, D.J. (Eds.). **Handbook of Plant Nutrition**. 2. ed. Boca Raton, 2006. p. 329–350. Disponível em: [file:///C:/Users/newfl/Downloads/9780429184512\\_googlepreview.pdf](file:///C:/Users/newfl/Downloads/9780429184512_googlepreview.pdf). Acesso em: 16 jun. 2018.

RÖMHELD, V.; MARSCHNER, H. Evidence for a specific uptake system for iron phytosiderophores in roots of grasses. **Plant Physiology**, Estados Unidos v. 80, p. 175–180, 1986.

ROUT, G. R.; SAHOO, S. Role of iron in plant growth and metabolism. **Reviews in Agricultural Science**, Japão, v. 3, p. 1–24, 2015.

SCHMIDT W. Iron solutions: acquisition strategies and signaling pathways in plants. **Trends in Plant Science**, Estados Unidos, v. 8, n. 4, 2003.

SERRANO, L. A. L.; OLIVEIRA, V. H. de. Aspectos botânicos, fenologia e manejo da cultura do cajueiro. In: ARAÚJO, J. P. P. de. (Ed). **Agronegócio caju: práticas e inovações**. Brasília, DF, Embrapa, p. 77-159. 2013.

SHARMA, P. et al. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany**, [s. l.], v. 2012, p. 1–26, 2001.

SHARMA, S. Adaptation of photosynthesis under iron deficiency in maize. **Journal of Plant Physiology**, [s. l.], v. 164, p.1261-1267, 2007.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.

SOUSA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática**: guia ilustrativo para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil. 3. ed. São Paulo: Nova Odessa, 768 p., 2008.

SOUZA FILHO, H. M., et al. Barreiras às novas formas de coordenação no agrossistema do caju na região nordeste, Brasil. **Gestão e Produção**, São Carlos, .2 p. 229-244, 2010.

SWIADER, J. M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal Plant Nutrition**, Monticello, v. 17, n. 10, p. 1687-1699, 1994.

SYSTAT SOFTWARE Inc – SSI. SigmaPlot version 11.0. 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

VAL, J. et al. Application of chlorophyll fluorescence to study iron and manganese deficiencies in peach tree. **Acta Horticulturae.**, Bélgica, v. 383, p. 201-209, 1995.

VAROTTO, C. et al. The metal ion transporter IRT1 is necessary for iron homeostasis and efficient photosynthesis in *Arabidopsis thaliana*. **The Plant Journal**, Inglaterra, v.31, n.5, p.589-599, 2002.

VIDAL NETO, F. das. C. et al. Melhoramento genético e cultivares de cajueiro. In: ARAÚJO, J. P. P. de. (Ed). **Agronegócio caju: práticas e inovações**. Brasília, DF: Embrapa, p. 481-508. 2013

VIEGAS, I. J. M. et al. Growth and Visual Symptoms of Nutrients Deficiency in Mangosteens (*Garcinia mangostana* L.). **American Journal of Plant Sciences**, Estados Unidos, v. 9, p. 1014–1028, 2018.

WALLACE, A., R. T.; MUELLER; E. M. ROMNEY. Excess EDDHA in the nutrient solution on Iron uptake by bush bean plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Estados Unidos, v. 7, n.1, p. 93-96, 1976.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, [s. l], v. 144, p. 307–313, 1994.

WINDER, T. L.; NISHIO, J. N. Early Iron Deficiency Stress Response in Leaves of Sugar Beet. **Plant Physiology**, Estados Unidos, v. 108, p. 1487 – 1494, 1995.

ZHA, Q. et al. Plant Science Both immanently high active iron contents and increased root ferrous uptake in response to low iron stress contribute to the iron deficiency tolerance in *Malus xiaojinensis*. **Plant Science**, Estados Unidos, v. 214, p. 47–56, 2014.

ZUO, Y.; ZHANG, F. Soil and crop management strategies to prevent iron deficiency in crops. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 339, n. 1-2, p. 83-95, 2011.

**APÊNDICE A - VALORES MÉDIOS DE CLOROFILA A (CLOR A), CLOROFILA B (CLO B), CLOROFILA TOTAL (SPAD), FOTOSÍNTESE (A), CONCENTRAÇÃO INTERNA DE CARBONO (CI) E RELAÇÃO ENTRE CONCENTRAÇÃO INTERNA E EXTERNA DE CARBONO (CI/CA) DE MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS COM FE**

Doses de Fe	Clor <i>a</i>	Clor <i>b</i>	SPAD	<i>A</i>	<i>C<sub>i</sub></i>	<i>C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub></i>
mg L <sup>-1</sup>	----- mg/gMS -----			μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	Pa	
0	0,290	0,013	0,129	4,809	228,91	0,577
2,5	0,431	0,021	0,278	6,610	164,07	0,415
5	0,445	0,018	0,278	8,382	189,35	0,480
7,5	0,467	0,021	0,258	8,626	136,80	0,294
10	0,364	0,016	0,210	5,679	178,65	0,451
Teste F	4,8*	5,6*	5,2**	6,9*	5,06**	5,05**
Reg. L	15,5**	19,3**	2,6 <sup>ns</sup>	3,5 <sup>ns</sup>	6,64*	6,63**
Reg. Q	0,008 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>	16*	21,6**	5,25*	5,07*
CV%	38,22	31,4	23,8	18,56	20,81	20,6

\*\* , \* , <sup>ns</sup> – significativo a 1%, 5% e não significativo respectivamente.

**APÊNDICE B - VALORES MÉDIOS DE CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA (*GS*),  
TAXA DE TRANSPORTE DE ELÉTRONS (*ERT*) E TAXA DE TRANSPIRAÇÃO (*E*)  
DE MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS COM FE**

Doses de Fe	<i>gs</i>	<i>ETR</i>	<i>E</i>
mg L <sup>-1</sup>	mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
0	0,0525	84,78	1,87
2,5	0,0500	92,55	1,65
5	0,0750	127,00	2,45
7,5	0,0575	119,38	2,19
10	0,0450	82,75	1,39
Teste F	4,04*	5,76**	5,6**
Reg. L	0,06 <sup>ns</sup>	0,7 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>
Reg. Q	7,05**	16,7**	11,2*
CV%	17,51	16,8	18,58

\*\* , \* , <sup>ns</sup> – significativo a 1%, 5% e não significativo respectivamente.

**APÊNDICE C - VALORES MÉDIOS DE EFICIÊNCIA INTRÍNSECA DO USO DA  
ÁGUA (EIUA), EFICIÊNCIA INSTANTÂNEA DO USO DA ÁGUA (EUA) E  
EFICIÊNCIA INSTANTÂNEA DE CARBOXILAÇÃO (EIC) DE MUDAS DE  
CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS COM FE**

Doses de Fe	EIUA	EUA	EIC
mg L <sup>-1</sup>	[( $\mu\text{mol CO}_2$ (mol H <sub>2</sub> O) <sup>-1</sup> )]	[( $\mu\text{mol CO}_2$ (mmol H <sub>2</sub> O) <sup>-1</sup> )]	( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ Pa <sup>-1</sup> )
0	92,64	2,547	0,022
2,5	134,42	4,015	0,042
5	116,42	3,415	0,045
7,5	149,52	3,902	0,060
10	126,45	4,107	0,035
Teste F	3,6*	7,92**	4,6*
Reg. L	3,6 <sup>ns</sup>	2,8 <sup>ns</sup>	4,4 <sup>ns</sup>
Reg. Q	5,5*	17,2*	10,4*
CV%	17,84	12,72	31

\*\* , \* , <sup>ns</sup> – significativo a 1%, 5% e não significativo respectivamente.

**APÊNDICE D - VALORES MÉDIOS DE ALTURA (A), ÁREA FOLIAR (AF), MASSA SECA DE RAÍZES (MSR), MASSA SECA DE PARTE AÉREA (MSPA) E MASSA SECA TOTAL (MST) EM MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS COM FE**

Doses de Fe	A	AF	MSR	MSPA	MST
mg L <sup>-1</sup>	cm	cm <sup>2</sup>	----- g -----		
0	26,0	151,69	2,31	4,39	6,69
2,5	28,3	236,78	3,06	6,39	9,51
5	30,02	314,28	3,41	7,59	11,04
7,5	29,02	245,21	3,41	6,62	9,85
10	26,06	158,57	3,06	5,22	8,79
Teste F	8,01 <sup>**</sup>	0,015 <sup>**</sup>	6,01 <sup>**</sup>	2,0 <sup>ns</sup>	7,5 <sup>**</sup>
Reg. L	3,5 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	9,5 <sup>**</sup>	-	6,0 <sup>*</sup>
Reg. Q	21,2 <sup>**</sup>	16,3 <sup>**</sup>	13,0 <sup>**</sup>	-	22,8 <sup>**</sup>
CV%	14,07	29,27	11,85	13,5	12,75

<sup>\*\*</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>ns</sup> – significativo a 1%, 5% e não significativo respectivamente.

**APÊNDICE E - VALORES MÉDIOS DOS ACÚMULOS DE MACRONUTRIENTES E FERRO TOTAL NA PARTE AÉREA E DE FERRO TOTAL NA FOLHA (F) DE MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS COM FE**

Doses de Fe	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Fe (F)
mg L <sup>-1</sup>	----- g planta <sup>-1</sup> -----						--mg planta <sup>-1</sup> --	
0	0,290	0,013	0,129	0,032	0,015	0,006	0,48	0,46
2,5	0,431	0,021	0,278	0,058	0,022	0,011	0,47	0,10
5	0,445	0,018	0,278	0,057	0,024	0,010	0,59	0,05
7,5	0,467	0,021	0,258	0,065	0,030	0,011	0,65	0,15
10	0,364	0,016	0,210	0,054	0,024	0,013	0,48	0,07
Teste F	2,8 <sup>ns</sup>	1,8 <sup>ns</sup>	5,2 <sup>**</sup>	5,4 <sup>**</sup>	2,9 <sup>ns</sup>	2,4 <sup>ns</sup>	1,31 <sup>ns</sup>	3,6 <sup>*</sup>
Reg. L	-	-	2,6 <sup>ns</sup>	9,16 <sup>**</sup>	-	-	-	1,7 <sup>ns</sup>
Reg. Q	-	-	16 <sup>**</sup>	10,38 <sup>**</sup>	-	-	-	2,6 <sup>ns</sup>
CV%	21,22	27,4	23,8	20,25	27,7	29,8	25,6	40,38

\*\*, \*, ns – significativo a 1%, 5% e não significativo respectivamente

**APÊNDICE F - VALORES MÉDIOS DOS ACÚMULOS DE MACRONUTRIENTES E FERRO NAS RAÍZES DE MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS COM FE**

Doses de Fe	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe
mg L <sup>-1</sup>	----- g planta <sup>-1</sup> -----						mg planta <sup>-1</sup>
0	0,055	0,003	0,011	0,017	0,005	0,001	0,54
2,5	0,075	0,006	0,018	0,025	0,008	0,002	0,94
5	0,077	0,005	0,017	0,026	0,008	0,003	1,28
7,5	0,082	0,005	0,016	0,020	0,007	0,003	1,23
10	0,078	0,004	0,015	0,019	0,007	0,002	1,04
Teste F	2,6 <sup>ns</sup>	2,5 <sup>ns</sup>	2,7 <sup>ns</sup>	1,4 <sup>ns</sup>	1,6 <sup>ns</sup>	3,1 <sup>*</sup>	5,0 <sup>*</sup>
Reg. L	-	-	-	-	-	1,8 <sup>ns</sup>	9,6 <sup>**</sup>
Reg. Q	-	-	-	-	-	10,3 <sup>*</sup>	10,19 <sup>*</sup>
CV%	17,5	28,5	21,9	28,6	21	24,2	19

<sup>\*\*</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>ns</sup> - significativo a 1%, 5% e não significativo respectivamente.

**APÊNDICE G - VALORES MÉDIOS DOS ACÚMULOS TOTAIS DE  
MACRONUTRIENTES E FERRO EM MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS  
COM FE**

Doses de Fe	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe
mg L <sup>-1</sup>	----- g planta <sup>-1</sup> -----						mg planta <sup>-1</sup>
0	0,34	0,016	0,140	0,049	0,021	0,008	1,03
2,5	0,512	0,027	0,296	0,084	0,030	0,014	1,42
5	0,523	0,023	0,296	0,083	0,032	0,014	1,88
7,5	0,549	0,026	0,274	0,086	0,038	0,014	1,89
10	0,442	0,020	0,226	0,073	0,031	0,0015	1,52
Teste F	2,9 <sup>ns</sup>	2,2 <sup>ns</sup>	5,5 <sup>**</sup>	1,4 <sup>*</sup>	3,3 <sup>ns</sup>	2,78 <sup>ns</sup>	5,0 <sup>**</sup>
Reg. L	-	-	2,8 <sup>ns</sup>	5,2 <sup>*</sup>	-	-	10,9 <sup>*</sup>
Reg. Q	-	-	16,6 <sup>**</sup>	12,1 <sup>**</sup>	-	-	13,9 <sup>*</sup>
CV%	20,1	25,8	21,8	18,4	23,2	25,8	25,5

<sup>\*\*</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>ns</sup> – significativo a 1%, 5% e não significativo respectivamente.

**APÊNDICE H - VALORES MÉDIOS DA EFICIÊNCIA DE ABSORÇÃO DE  
MACRONUTRIENTES E FERRO EM MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS  
COM FE**

Doses de Fe	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe
mg L <sup>-1</sup>	----- g do nutriente g <sup>-1</sup> matéria seca das raízes -----						mg g <sup>-1</sup>
0	0,7735	0,0073	0,0611	0,0217	0,0091	0,0037	0,4501
2,5	1,3525	0,0087	0,0939	0,0268	0,0097	0,0044	0,4463
5	1,8435	0,0068	0,0839	0,0239	0,0093	0,0040	0,5467
7,5	1,7551	0,0082	0,0847	0,0264	0,0117	0,0045	0,5849
10	1,3813	0,0066	0,0738	0,2349	0,0102	0,0052	0,4907
Teste F	7,6*	2,01 <sup>ns</sup>	3,09*	1,7 <sup>ns</sup>	1,5 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>ns</sup>	2,4 <sup>ns</sup>
Reg. L	11,1**	-	0,58 <sup>ns</sup>	-	-	-	-
Reg. Q	18,7**	-	8,28*	-	-	-	-
CV%	21,5	16,8	17,8	13,5	16,8	25,1	15,6

\*\* , \* , <sup>ns</sup> – significativo a 1%, 5% e não significativo respectivamente.

**APÊNDICE I - VALORES MÉDIOS DA EFICIÊNCIA DE TRANSPORTE DE  
MACRONUTRIENTES E FERRO EM MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS  
COM FE**

Doses de Fe	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe
mg L <sup>-1</sup>	----- % -----						
0	83,94	79,77	91,90	65,01	72,58	78,39	47,72
2,5	84,62	77,10	93,54	70,09	73,21	80,02	34,29
5	85,06	78,68	93,74	67,72	74,21	76,53	31,60
7,5	84,49	78,98	94,02	75,51	79,37	79,06	34,82
10	81,99	78,88	92,94	73,81	75,44	82,98	32,22
Teste F	0,86 <sup>ns</sup>	0,2 <sup>ns</sup>	1,03 <sup>ns</sup>	2,0 <sup>ns</sup>	1,6 <sup>ns</sup>	1,7 <sup>ns</sup>	1,7 <sup>ns</sup>
Reg. L	-	-	-	-	-	-	-
Reg. Q	-	-	-	-	-	-	-
CV%	3,08	5,41	8,64	13,5	5,64	4,57	27,7

\*\* , \* , <sup>ns</sup> – significativo a 1%, 5% e não significativo respectivamente.

**APÊNDICE J - VALORES MÉDIOS DA EFICIÊNCIA DE USO DE  
MACRONUTRIENTES E FERRO EM MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS  
COM FE**

Doses de Fe	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe
mg L <sup>-1</sup>	----- (matéria seca) g <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> nutriente acumulado -----						mg <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>
0	134,13	2662,95	323,36	928,44	2131,96	5341,25	43,60
2,5	187,09	3390,86	311,51	1098,23	3006,76	6612,20	65,98
5	236,27	5177,34	439,71	1477,07	3742,72	8803,55	67,92
7,5	181,49	3766,13	554,03	1137,05	2614,35	6668,68	51,67
10	175,42	3847,67	342,47	1069,83	2468,00	5226,42	51,40
Teste F	8,01**	12,1**	2,4 <sup>ns</sup>	3,59*	13,3**	7,6**	1,7 <sup>ns</sup>
Reg. L	3,5 <sup>ns</sup>	10,8**	-	0,9 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	-
Reg. Q	21,2**	20,8**	-	8,8**	38,1**	24,9**	-
CV%	14,07	13,96	8,64	13,5	5,64	4,57	27,7

\*\* , \* , <sup>ns</sup> – significativo a 1%, 5% e não significativo respectivamente.

**APÊNDICE K - VALORES MÉDIOS DOS TEORES DE MACRONUTRIENTES E FERRO EM FOLHAS DE MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS COM FE**

Doses de Fe	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe
mg L <sup>-1</sup>	----- g kg <sup>-1</sup> -----						mg kg <sup>-1</sup>
0	51,038	1,55	20,88	4,25	2,02	1,02	54,5
2,5	48,855	1,66	35,45	5,57	2,37	1,36	56,82
5	43,760	1,07	22,77	3,54	1,81	1,03	34,07
7,5	50,353	1,72	32,99	6,08	3,07	1,41	87,92
10	48,345	1,35	30,97	4,91	2,32	1,32	50,07

**APÊNDICE L - VALORES MÉDIOS DOS TEORES DE MACRONUTRIENTES E FERRO NAS RAÍZES DE MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS COM FE**

Doses de Fe	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe
mg L <sup>-1</sup>	----- g kg <sup>-1</sup> -----						mg kg <sup>-1</sup>
0	24,25	1,5	4,8	7,8	2,5	0,8	239,3
2,5	23,95	2,0	6,0	8,0	2,6	0,9	295,5
5	22,35	1,5	5,0	7,7	2,4	0,0	375,0
7,5	25,37	1,6	5,0	6,5	2,3	0,9	3,84,5
10	24,89	1,4	5,1	6,2	2,4	0,8	334,5

**APÊNDICE M - VALORES MÉDIOS DOS TEORES DE MACRONUTRIENTES E FERRO NA PARTE ÁREA DE MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO ADUBADAS COM FE**

Doses de Fe	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe
mg L <sup>-1</sup>	-----g kg <sup>-1</sup> -----						mg kg <sup>-1</sup>
0	64,77	3,1	29,5	7,3	3,5	1,50	116
2,5	58,69	3,25	43,03	9,35	3,84	1,73	79,07
5	68,83	2,46	30,0	7,47	3,21	1,41	77,82
7,5	64,55	3,18	39,13	9,85	4,73	1,75	116,67
10	64,25	2,88	37,51	9,79	4,27	1,85	85,4