



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

LUIS FELIPE RODRIGUES DE AQUINO SOUSA

**CALAGEM NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO CAJUEIRO E GENÓTIPOS
TOLERANTES AO ALUMÍNIO**

FORTALEZA

2017

LUIS FELIPE RODRIGUES DE AQUINO SOUSA

CALAGEM NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO CAJUEIRO E GENÓTIPOS
TOLERANTES AO ALUMÍNIO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito final para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo, Área de concentração: Química, Fertilidade e Biologia do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Cleber de Medeiros Corrêa.

Coorientador: Dr. Carlos Alberto Kenji Taniguchi

Coorientador: Prof. Dr. William Natale

FORTALEZA

2017

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)

R614c Rodrigues de Aquino Sousa, Luis Felipe.
CALAGEM NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO CAJUEIRO E GENÓTIPOS TOLERANTES
AO ALUMÍNIO / Luis Felipe Rodrigues de Aquino Sousa. – 2017.
76 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas), Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Márcio Cleber de Medeiros Corrêa.

Coorientação: Dr. Carlos Alberto Kenji Taniguchi.

Coorientação: Prof. Dr. William Natale

1. *Anacardium occidentale*. 2. Saturação por bases. 3. Acidez trocável. I. Título.

CDD 631.4

LUIS FELIPE RODRIGUES DE AQUINO SOUSA

CALAGEM NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO CAJUEIRO E GENÓTIPOS
TOLERANTES AO ALUMÍNIO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito final para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo, Área de concentração: Química, Fertilidade e Biologia do Solo.

Aprovada em: 20/02/2017

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. William Natale (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará

Dr. Luiz Augusto Lopes Serrano
Embrapa Agroindústria Tropical

FORTALEZA

2017

A Deus.

A minha bisavó ***Cheirosa*** (*in memorian*).

Dedico!

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida!

À minha toda minha família, em especial minha mãe, Juciane, por todo apoio, carinho e compreensão, meu pai Daniel, meus avós Maria Francisca e Nonato Bodeiro. As minhas irmãs Juliana, Danielle e Maria Clara. Aos tios, primos e amigos, em especial Celinha, Jr Bodeiro, João Marcos, Ley Vane, Ronaldo, Miza e Rhuana.

Ao meu orientador Prof. Dr. Márcio Cleber de Medeiros Corrêa pelos ensinamentos e amizade. Ao Prof. Dr. William Natale, pelo carinho e atenção.

Ao Dr. Carlos Alberto Kenji Taniguchi, por toda dedicação, atenção, paciência e ensinamentos durante todo meu período na Embrapa. Serei eternamente grato.

Ao meu amigo Ricardo Miranda, pela amizade, compreensão, por toda ajuda e pelos os conselhos durante a condução dos experimentos e ao logo do mestrado.

Aos amigos da pós-graduação, Juarez, Rafaela, Isabela, Alan, Godofredo, Gleiciane, Cillas, Thiago, Eduardo, Arilene, Saialy, Daniel, Ronialison, Falkner, Marilena, Israel, Lucas, Ícaro, por todo carinho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo e ao Departamento de Ciências do Solo, pela oportunidade.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pelo conhecimento compartilhado, em especial Jaedson Mota pela amizade e conselho. Aos funcionários do Departamento de Ciências do Solo, Dona Helena e Edilson, por toda presteza.

À Embrapa Agroindústria Tropical, pela infraestrutura cedida para execução dos experimentos desta dissertação, e a todos do Laboratório de Solos e Água, Vanderléia, Thais, David, Esraelda e Raimundo, por toda ajuda e amizade.

À CAPES pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa.

À todos que contribuíram de alguma forma para realização desta dissertação.

Mais sábio é aquele que sabe que não sabe...

Sócrates

RESUMO

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é amplamente cultivado na região Nordeste do Brasil, que responde por 98% da produção nacional de castanha de caju *in natura*. No entanto, a produtividade dos pomares é baixa, e muito se explica pelo baixo uso das tecnologias disponíveis e a baixa fertilidade dos solos dessa região. Nesse sentido, a calagem é uma das práticas que podem contribuir para o aumento do rendimento do cajueiro, bem como a seleção de genótipos com alguma tolerância ao Al^{3+} no solo. Assim, o objetivo desse trabalho foi determinar a saturação por bases adequada para o desenvolvimento inicial do cajueiro, bem como, selecionar genótipos tolerantes ao alumínio no solo. Foram realizados dois experimentos, sendo um sobre o efeito da calagem no desenvolvimento inicial do cajueiro, e outro para a avaliação de genótipos de cajueiro tolerantes ao Al para produção de porta-enxertos. Ambos foram conduzidos em casa de vegetação, na Embrapa Agroindústria Tropical, em Fortaleza, Ceará. Os solos foram incubados com doses crescentes de calcário dolomítico, PRNT de 91%, com $CaO = 32\%$ e $MgO = 15\%$, em quantidades suficientes para elevar a saturação por bases (V_2) para: PA (Argissolo Amarelo) 45%, 55%, 65%, 75% e 85%; PVA (Argissolo Vermelho Amarelo) 35%, 45%, 55%, 65%, 75% e 85%; além da $V\%$ inicial para o PA. Com base nos resultados, relacionou-se as variáveis biométricas, após cinco meses do plantio, com a saturação por bases, obtidas pelas análises após a incubação. O experimento para a seleção de genótipos de cajueiro cujo objetivo era a formação de porta-enxertos, tolerantes ao alumínio foi realizado em casa de vegetação, em delineamento em parcelas subdivididas, em que as parcelas eram cinco doses de Al na forma de $AlCl_3 \cdot 6H_2O$: 0, 10, 20, 30 e 40 mg L^{-1} e as subparcelas eram oito genótipos de porta-enxertos: CCP 06, CCP 09, CCP 76, CCP 1001, Embrapa 51, BRS 189, BRS 265 e BRS 275, com dez repetições, totalizando 400 plantas. Oitenta dias após o início da aplicação das doses de alumínio (125 dias após a semeadura), as plantas foram avaliadas quanto à biometria. A prática da calagem é fundamental na implantação de pomares de cajueiro, destacando para seu efeito a longo prazo. A saturação por bases entre 50% e 60% é a faixa em que as plantas de cajueiro obtiveram melhor resposta a calagem. O cajueiro apresenta uma alta variabilidade aos efeitos causados pelo alumínio, sendo os genótipos BRS 265, Embrapa 51 e CCP 1001 são os mais sensíveis.

Palavras-chave: Saturação por bases; Caju; *Anacardium occidentale*; Acidez trocável; Efeitos da calagem no cajueiro.

ABSTRACT

Cashew tree (*Anacardium occidentale* L.) is widely cultivated in the northeastern region of Brazil, which accounts for 98% of the national production of cashew nut in natura. However, the productivity of orchards is low, and is explained by the low use of available technologies and the low fertility of soils in this region. In this sense, liming is one of the practices that can contribute to the increase of cashew yield, as well as the selection of genotypes with some tolerance to Al^{3+} in the soil. Thus, the objective of this work was to determine the base saturation adequate for the initial development of the cashew tree, as well as to select genotypes tolerant to aluminum in the soil. Two experiments were carried out, one on the effect of liming on the initial development of cashew tree, and another on the evaluation of cashew genotypes tolerant to Al for rootstock production. Both were conducted in a greenhouse at the Embrapa Agroindústria Tropical, in Fortaleza, Ceará State. The soils were incubated with increasing doses of dolomitic limestone, 91% PRNT, with $CaO = 32\%$ and $MgO = 15\%$, in sufficient amounts to raise the saturation by bases (V2) to: PA (Ultisols Yellow) 45%, 55 %, 65%, 75% and 85%; PVA (Ultisols Red Yellow) 35%, 45%, 55%, 65%, 75% and 85%. Beyond the V% initial to the AP. Based on the results, was related to the biometric variables, five months after planting, with the base saturation, obtained by analysis after incubation. The experiment for the selection of cashew tree genotypes for the purpose of the formation of aluminum tolerant rootstocks was carried out in a greenhouse, in a split-plot design, in which the plots were five doses of Al in the form of $AlCl_3 \cdot 6H_2O$: 0, 10, 20, 30 and 40 mg L⁻¹ and the subplots were eight genotypes of rootstocks: CCP 06, CCP 09, CCP 76, CCP 1001, Embrapa 51, BRS 189, BRS 265 and BRS 275, with ten replications, totaling 400 plants. Eighty days after the beginning of the application of aluminum doses (125 days after sowing), the plants were evaluated for biometrics. The practice of liming is fundamental in the implantation of orchards of cashew, emphasizing for its effect in the long term. The base saturation between 50% and 60% is the range in which the cashew plants obtained the best response to liming. The cashew tree presents a high variability to the effects caused by the aluminum, being genotypes BRS 265, Embrapa 51 and CCP 1001 are the most sensitive.

Keywords: Base saturation; Cashew; *Anacardium occidentale*; Exchangeable acidity; Effects of liming on cashew tree.

LISTA DE FIGURA

Figura 1. Disponibilidade de nutrientes em relação ao pH do solo.....	188
Figura 2. Mapa pedológico e localização dos solos amostrados.	288
Figura 3. Representação da montagem do experimento.....	30
Figura 4. Sequência da montagem do experimento para a seleção de genótipos tolerantes ao Al.	32
Figura 5. Efeito das doses e calcário na saturação por base, em cada solo.	377
Figura 6. Relação entre a saturação por bases e o pH.	387
Figura 7. Relação entre a saturação por bases e as concentrações de Ca^{2+}	398
Figura 8. Relação entre a saturação por bases e as concentrações de Mg^{2+}	389
Figura 9. Relação entre a saturação por bases e as concentrações de Al^{3+}	40
Figura 10. Relação entre a saturação por bases e a $H + Al$	40
Figura 11. Relação entre a saturação por bases e a diâmetro de plantas de cajueiro.	43
Figura 12. Relação entre a saturação por bases e a altura de plantas de cajueiro.....	44
Figura 13. Sintomas de deficiência de Fe nas plantas de cajueiro que receberam doses para elevar a saturação por bases a 85%.....	46
Figura 14. Diâmetro dos genótipos de cajueiro em função das doses de alumínio.....	49
Figura 15. Número de folhas de genótipos de cajueiro em função de doses de alumínio.....	50
Figura 16. Altura de genótipos de cajueiro em função de doses de alumínio.....	51
Figura 17. Massa da matéria seca de caule de genótipos de cajueiro em função de doses de alumínio.....	54
Figura 18. Média da produção de massa da matéria seca de raízes fina de genótipos de cajueiro em função de doses de alumínio.....	54
Figura 19. Volume de raízes de genótipos de cajueiro em função de doses de alumínio.....	56
Figura 20. Área superficial de raízes de dois genótipos de cajueiro em função de doses de alumínio.....	57
Figura 21. Diâmetro médio de raízes de genótipos de cajueiro em função de doses de alumínio.....	58

Lista de Tabelas

Tabela 1. Caracterização química dos solos.....	28
Tabela 2. Densidade do solo, e massa de solo em cada unidade experimental.....	29
Tabela 3. Nutrientes e concentrações utilizadas para a adubação dos vasos.....	29
Tabela 4. Médias dos atributos químicos do solo, altura e diâmetro das plantas de cajueiro, e resumo da análise de variância.....	36
Tabela 5. Correlação de Pearson para os atributos químicos do solo e as variáveis biométricas altura e diâmetro das plantas de cajueiro.....	42
Tabela 6. Altura, número de folhas e diâmetro do caule de oito genótipos de cajueiro, após 80 dias de aplicação de alumínio.....	48
Tabela 7. Produção de massa da matéria seca de caule, folhas, da parte aérea, de raiz grossa, fina e total de raízes e do total de matéria seca de oito genótipos de cajueiro, após 80 dias de aplicação do alumínio.....	53
Tabela 8. Características morfológicas de oito genótipos de cajueiro, após 80 dias de aplicação do alumínio.....	55
Tabela 9. Equação de regressão para o volume de raízes em função das doses de alumínio.....	56
Tabela 10. Equação de regressão para o diâmetro médio de raízes em função das doses de alumínio.....	58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	15
2.1 O cajueiro	15
2.2 Origem da acidez do solo	16
2.3 Tipos de acidez	17
2.4 Efeitos da acidez do solo	17
2.5 Correção da acidez.....	19
2.6 Recomendação de calagem.....	20
2.7 Efeitos da calagem.....	22
2.8 Calagem no Cajueiro	23
2.9 Critérios de calibração	25
2.10 Tolerância ao Al e efeitos no cajueiro	26
3 MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1 Experimento com calagem na formação de mudas de cajueiro.....	28
3.1.1 Análise química do solo	30
3.1.2 Análises biométricas das plantas	31
3.1.4 Calibração da calagem.....	31
3.2 Experimento para a seleção de genótipos tolerantes ao Al	32
3.2.1 Avaliações biométricas.....	34
3.2.2 Nível de toxidez e genótipos tolerantes ao Al	34
3.3 Análise estatística dos dados	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 Efeitos da saturação por bases no cajueiro	35
4.2 Seleção de genótipos tolerantes ao alumínio.....	48
5 CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
APÊNDICE	73

1 INTRODUÇÃO

A fruticultura brasileira vem a cada dia se consolidando como um dos principais setores da agroindústria do Brasil devido, principalmente, ao seu potencial de geração de emprego e renda. O Brasil se destaca por ser um dos maiores produtores de frutas tropicais do mundo, logo atrás da China e da Índia (PEREIRA et al., 2015). Das fruteiras tropicais, destaca-se o cajueiro (*Anacardium occidentale* L.), típica do Brasil e largamente cultivada no Nordeste do País.

Segundo estimativas do IBGE (2017), a área colhida de castanha de caju no Brasil em 2016 foi de 562 mil ha, com produção de aproximadamente 80 mil toneladas. O Nordeste responde por 98% da produção total de castanha de caju *in natura* do Brasil e, o estado do Ceará é o maior produtor do País, contribuindo com 30.763 toneladas (38,5 % da produção nacional).

O Brasil apresenta, porém, baixa produtividade de castanha em seus pomares. De acordo com dados da FAOSTAT (2017) referentes a 2014, o rendimento médio brasileiro de castanha de caju foi de 171,8 kg ha⁻¹, enquanto a média mundial é de 615 kg ha⁻¹, portanto, bastante inferior, quando comparado à países como o Vietnã, a Índia e a Costa do Marfim.

A baixa produtividade do cajueiro no Nordeste brasileiro está relacionada à vários fatores, como: pomares velhos formados por plantio direto de sementes ou mudas de pé-franco do cajueiro comum, pomares desuniformes, perda de plantas sem haver o replantio, baixa adoção das tecnologias disponíveis, além da fertilidade dos solos dessa região que, em grande parte, possui solos ácidos e com saturação por alumínio (m%) elevada, como é o caso dos Neossolos, Argissolos e Latossolos, nos quais predominam o cultivo do cajueiro.

A adubação fornece os elementos essenciais para o bom desenvolvimento das plantas, e a calagem, por sua vez, neutraliza o alumínio trocável (Al³⁺), que é tóxico e interfere no crescimento radicular. Além disso a calagem eleva o pH e as concentrações de cálcio e magnésio, corrigindo a deficiência desses elementos no solo, bem como, aumenta a disponibilidade de outros nutrientes às plantas.

Os principais métodos para a recomendação de calagem para a cultura do cajueiro são os de neutralização do Al, o da elevação das concentrações de cálcio e magnésio e o método da saturação por bases.

A calagem do cajueiro é, na maioria das vezes, feita em função da saturação por bases (V%) que o solo apresenta; as quantidades de calcário recomendadas devem ser suficientes para elevar essa saturação a valores de 60% a 70% (CRISÓSTOMO et al., 2009; CRISÓSTOMO, 2013). No entanto, são escassas as pesquisas e as informações sobre os efeitos da calagem no cajueiro, bem como o valor adequado de V%, necessário ao melhor desenvolvimento da cultura.

Os níveis de V% estão diretamente relacionados ao pH do solo e, assim, aumentam a disponibilidade de muitos nutrientes, melhorando o desenvolvimento da planta. Um dos principais elementos incorporados com a calagem é o Ca^{2+} , que melhora o crescimento das raízes e tem funções estruturais na planta, como na composição da parede celular, promovendo maior resistência dos frutos na pós-colheita (FIGUEIREDO et al., 2007).

Além da calagem, o melhoramento genético do cajueiro é outra forma de aumentar não só a produtividade dos pomares brasileiros, como melhorar a qualidade da castanha e do pseudofruto (SILVA et al., 2014a; VALE et al., 2014). Empregar genótipos tolerantes ao alumínio é outra estratégia para o cultivo em locais com elevada concentração de Al^{3+} no solo (PARENTE, 2000). Logo, selecionar possíveis genótipos tolerantes ao Al^{3+} , avaliando suas características de desenvolvimento, bem como níveis críticos de toxidez, é de grande valia.

O emprego da calagem no plantio do cajueiro incrementa o desenvolvimento dos pomares, bem como outras características agronômicas e fisiológicas fundamentais, considerando-se um dado nível crítico; isso levanta a hipótese de que a saturação por bases adequada é 60%, e que, com o melhoramento genético, há genótipos que são mais tolerantes do que outros ao alumínio. O objetivo deste trabalho é determinar a V% adequada ao plantio do cajueiro, bem como definir a dose de alumínio (Al) que causa toxicidade aos genótipos de cajueiro utilizados como porta-enxertos, além de identificar qual(is) é(são) o(s) mais tolerante(s).

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 O cajueiro

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é uma fruteira originária da América do Sul, e, é no Nordeste brasileiro que se encontra a maior diversidade deste gênero, sendo o estado do Ceará considerado o centro de origem dessa planta (JOHNSON, 1973).

A castanha é o principal produto do cajueiro, ou seja, seu fruto verdadeiro. O pedúnculo, pseudofruto do cajueiro, representa 90% da massa colhida, sendo usado principalmente na produção de sucos, doces e etc., além de poder ser consumido *in natura* quando maduro. Atualmente, a indústria vem desenvolvendo outros produtos para melhor aproveitamento do pedúnculo do cajueiro, tanto na alimentação humana quanto animal (SILVA et al., 2015; LOPES et al., 2016).

No mundo, segundo dados da FAO STAT (2017), o cajueiro ocupou em 2014 cerca de 6 milhões de hectares, com produção de aproximadamente 3,7 milhões de toneladas, o que resulta em uma produtividade média de 615 kg ha⁻¹ de castanha de caju. Os países com maior área plantada são a Costa do Marfim, a Índia, e o Brasil com 1,4 milhões, 1 milhão e 627 mil ha respectivamente. Os países líderes em produção são a Nigéria, a Índia e a Costa do Marfim, com 894 mil, 753 mil, 531 mil toneladas respectivamente; e o Brasil obteve 107 mil toneladas, estando entre os dez maiores produtores.

A região Nordeste se destaca em área plantada com cajueiros no Brasil, concentrando cerca de 98% do cultivo no País, devido principalmente a adaptabilidade das plantas, visto ser o centro de origem da espécie; os estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí são os maiores produtores brasileiros de castanha de caju (IBGE, 2017).

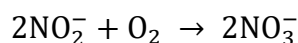
Genótipos como CCP 76 e BRS 226 são os mais usados nos plantios comerciais de cajueiro nas regiões litorâneas e de transição, no semiárido e no cerrado, devido às altas produtividades, bem como à tolerância à pragas e doenças (SERRANO et al., 2013). Esses genótipos adaptados a diferentes condições são fruto do trabalho da Embrapa Agroindústria Tropical no Campo Experimental de Pacajus. Entretanto, devido à sua maior capacidade produtiva, requerem maior aporte de nutrientes e, com isso, a

adubação e a calagem são práticas indispensáveis ao sucesso dessa atividade agrícola (OLIVEIRA et al., 2013).

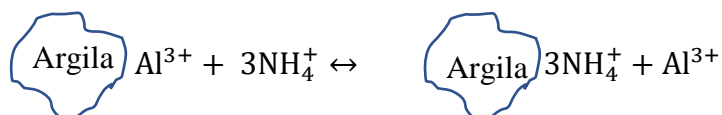
2.2 Origem da acidez do solo

Os solos podem ser naturalmente ácidos, devido a atuação dos agentes do intemperismo e dos processos pedogenéticos sobre o material de origem que favoreceram a remoção de bases como Ca, Mg, K e Na, ou se a constituição do material de origem for pobre em elementos básicos.

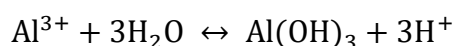
A acidez do solo pode ser causada, também, por processos antrópicos, devido a utilização de fertilizantes minerais, principalmente nitrogenados, que durante sua transformação no solo liberam íons H^+ na solução e, em consequência, diminuem o pH (COSTA et al., 2008). A nitrificação do amônio pode causar acidificação do solo:



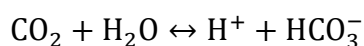
O amônio, em grandes quantidades no solo, pode deslocar o Al^{3+} adsorvido, provocando, também, a acidificação do solo:



o Al^{3+} na solução do solo sofre hidrólise, gerando acidez:



A mineralização da matéria orgânica presente no solo é outro processo que pode promover a acidificação, devido à ionização do H presente nos ácidos carboxílicos, fenólicos e álcoois. A mineralização da matéria orgânica do solo tende a aumentar as concentrações de CO_2 que, posteriormente, reage com a água formando ácido carbônico, que logo se dissocia liberando H^+ :



O H^+ da solução do solo desloca as bases presente na fase sólida e esta base lixivia junto com o bicarbonato (OLIVEIRA et al., 2005).

A acidificação do solo pode ser, ainda, decorrente da remoção de bases (Ca^{2+} e Mg^{2+}) pelas culturas, devido ao uso intensivo do solo e a não reposição desses nutrientes e, também, por erosão do solo (SOARES et al., 2008; PIERANGELI et al., 2009).

2.3 Tipos de acidez

A acidez do solo é composta pela acidez ativa, trocável e potencial. A acidez ativa do solo se refere à atividade dos íons H^+ (e também H_3O^+) na solução do solo, sendo determinada pelo pH:

$$pH = -\log(H^+) \quad (1)$$

em que, H^+ é a concentração de H^+ em $mol L^{-1}$.

Em geral, a determinação do pH é feita por métodos potenciométricos, em uma suspensão de solo, na relação solo:solução variando de 1:1 a 1:2,5, em que a solução pode ser água, KCl ou $CaCl_2$ (EMBRAPA, 2009).

A acidez trocável refere-se a quantidade de Al^{3+} trocável do solo adsorvido por força eletrostática, sendo determinada por extração com solução de KCl. A acidez potencial é composta pela acidez trocável (Al^{3+}) e não-trocável, (H^+ ligados covalentemente), sendo representada por $H+Al$.

2.4 Efeitos da acidez do solo

Os principais efeitos da acidez do solo estão relacionados com a disponibilidade de nutrientes e o crescimento das plantas. O aumento do pH para valores maiores que 5 tende a aumentar a disponibilidade de N, K, P Ca, Mg, S, B e Mo (MALAVOLTA, 2006) (Figura 1).

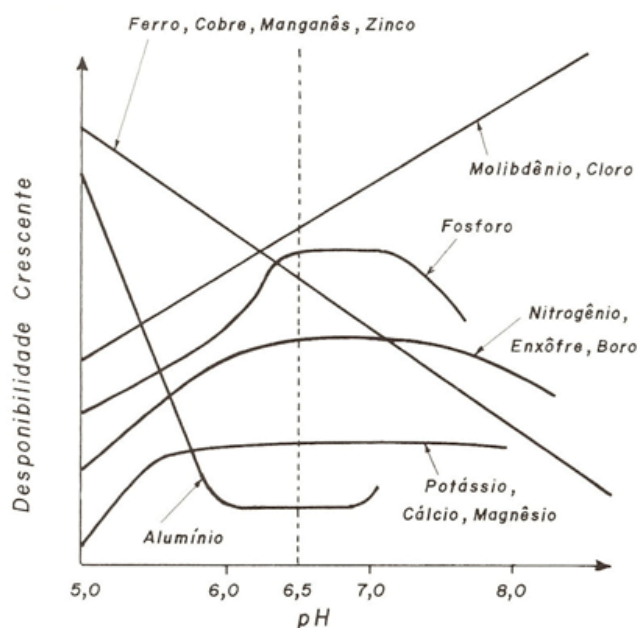


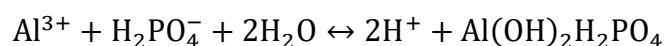
Figura 1. Disponibilidade de nutrientes em relação ao pH do solo.
Fonte: Malavolta (2006).

A elevação das concentrações de Al^{3+} no solo causam graves problemas de toxicidade, provocando limitações ao crescimento das plantas e tendo efeitos diretos no desenvolvimento do sistema radicular que, sob essas condições apresenta crescimento limitado, prejudicando a absorção de água e nutrientes como Ca, Mg e P, reduzindo o potencial produtivo das plantas (NOLLA e ANGHINONI, 2004; MIGUEL, et al., 2010).

Segundo Lima et al. (2007), o crescimento da mamoneira foi prejudicado pelas concentrações crescentes de Al^{3+} ; o mesmo foi observado em diferentes variedades de cafeeiros (MATTIELLO et al., 2008) e pinhão-mansão (STEINER et al., 2012), onde o comprimento radicular reduzido, além de apresentar sintomas típicos de toxicidade de alumínio, como rigidez e “arrepimento ou crespamento”, com de raízes laterais engrossadas, inibição da divisão celular e, conseqüentemente, do alongamento celular.

Na goiabeira, altas concentrações de Al^{3+} reduziram a absorção P, Ca, Mg, S, Fe e Mn, bem como limitaram a retranslocação destes nutrientes para a parte aérea das plantas (SALVADOR et al., 2000).

O excesso de Al^{3+} em solução pode causar a precipitação de P, na forma de fosfato de alumínio, tornando-o indisponível às plantas:



2.5 Correção da acidez

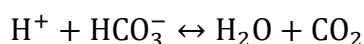
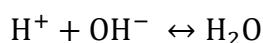
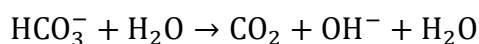
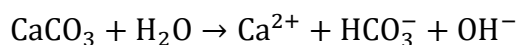
A aplicação de calcário ao solo, prática comumente conhecida como calagem, é fundamental para restabelecer a disponibilidade dos nutrientes, favorecendo condições que possibilitem que a cultura expresse seu máximo potencial de produção.

De acordo com a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, conhecida como *Lei de Fertilizantes, Corretivos, Inoculantes, Estimulantes ou Biofertilizantes*, e Redação dada pelo Decreto nº 8.384, de 2014, considera-se corretivo como:

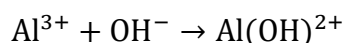
“produto de natureza inorgânica, orgânica ou ambas, usado para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, isoladas ou cumulativamente, não tendo em conta seu valor como fertilizante, além de não produzir característica prejudicial ao solo e aos vegetais”.

e corretivo da acidez do solo como “produto que promove a correção da acidez do solo, além de fornecer cálcio, magnésio ou ambos”.

O princípio básico da correção da acidez do solo é a troca catiônica e a neutralização dos prótons da solução do solo com caráter ácido (H^+ e Al^{3+}). Segundo Novais et al. (2007), o material corretivo deve conter um ânion para atuar como acceptor de elétrons, além de um elemento essencial que irá ocupar o sitio de ligação do H^+ ou do Al^{3+} que foi neutralizado pelo ânion. O material mais usado como corretivo da acidez do solo é o calcário ou os carbonatos ($CaCO_3$ e $MgCO_3$) (CASTRO et al., 2012) que além de neutralizar a acidez fornecem nutrientes como Ca e/ou Mg, da seguinte forma:



A correção do Al^{3+} ocorre por precipitação desse elemento com íons OH^- formando oxihidróxidos:





A reação do calcário no solo para a correção da acidez é lenta devido sua baixa solubilidade, dependendo de água e do tempo para que todo calcário reaja e a acidez seja corrigida (ARAÚJO et al., 2009); logo, a calagem deve ser feita com cerca de 30 a 90 dias de antecedência do plantio, dependendo do tipo e da granulometria do material. A granulometria reflete a eficiência relativa do material, ou seja, quanto menor a partícula maior será a superfície de contato com a solução do solo e, portanto, maior a rapidez da reação do corretivo.

Em trabalhos com solos incubados com calcário, houve aumento das concentrações de Ca e Mg, elevação do pH, CTC e V%, além da neutralização da acidez trocável e potencial do solo (CAMPANHARO et al., 2007; CALONEGO et al., 2013).

2.6 Recomendação de calagem

A necessidade de calagem é a quantidade de calcário necessária à ser aplicada ao solo para neutralizar a acidez, partindo da condição inicial até a condição desejada, favorecendo o desenvolvimento da cultura (RAIJ, 2011). Vários são os métodos usados para a recomendação de calagem, baseados nas concentrações de Al, Ca, Mg e nos valores de pH (SMP) e Saturação por bases (V%), sendo os principais o método da neutralização da acidez trocável, a elevação das concentrações de cálcio e magnésio; a solução tampão SMP; e, o método da saturação por bases.

O método da neutralização do Al é baseado apenas nas concentrações do Al presente no solo; Kamprath (1967) sugeriu a seguinte fórmula para o cálculo da necessidade de calagem:

$$\text{NC} = 2 \times \text{Al}^{3+} \quad (2)$$

em que, NC = toneladas de calcário por hectare, considerando o PRNT do calcário igual a 100%, a profundidade a ser corrigida igual a 0,20 m; Al^{3+} é a concentração de Al^{3+} na solução do solo em meq / 100cm³, que equivale à cmol_c dm⁻³.

No entanto, muitas vezes as quantidades recomendadas por este método são insuficientes para satisfazer as exigências das plantas em Ca e Mg, neutralizando apenas a acidez trocável (Al^{3+}), uma vez que, solos muito intemperizados têm baixa disponibilidade desses nutrientes. Como alternativa, tem sido sugerido o método que elevem as concentrações de Ca e Mg (ARAÚJO, 1979; AQUINO et al., 1993; RIBEIRO et al., 1999):

$$\text{NC} = 2 - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \quad (3)$$

em que, Ca^{2+} e Mg^{2+} = concentração Ca^{2+} e Mg^{2+} trocável do solo, expressas em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Os métodos de neutralização do alumínio e elevação das concentrações de cálcio e magnésio são calculados concomitantemente, usando-se a quantidade mais elevada, obtida nas equações 2 e 3.

O método que utilizava o pH do solo para o cálculo da necessidade de calagem foi proposto por Catani e Gallo (1955), correlacionando o pH e a saturação por bases em diferentes tipos de solo do estado de São Paulo, a fim de estabelecer um método rápido para a estimativa das exigências de calcário, e chegando a seguinte expressão:

$$n1 = H \frac{i_2 - i_1}{1 - i_1} \quad (4)$$

em que: n1 é a quantidade em miligramas de bases necessária para atingir o pH desejado; H é a quantidade de hidrogênio trocável; i_2 é a saturação por bases que corresponde ao pH que se deseja atingir; e, i_1 é a saturação por bases original do solo, obtida pela equação de regressão da correlação entre o pH e a saturação por bases.

$$i_1 = \frac{\text{pH} - 4,288}{0,03126} \quad (5)$$

O método proposto por Catani e Gallo (1955) não considerava o Al^{3+} como componente da acidez do solo, sendo adaptado por Raij (1981). Hoje, é um dos métodos mais utilizados no Brasil para a recomendação de calagem, cujo princípio do método é

elevar a saturação por bases do solo de um valor inicial até o V% adequado à planta à ser cultivada. A fórmula proposta é:

$$NC = \frac{(V_2 - V_1) T}{PRNT} \quad (6)$$

em que: V_2 é a saturação por bases (%) que se deseja alcançar com a calagem; V_1 é a saturação por bases presente no solo; T é a Capacidade de Troca de Cátions potencial do solo, composta pela Soma de bases (SB) mais a acidez potencial (H+Al) em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, e, PRNT se refere ao poder relativo de neutralização total do calcário que será usado.

Para a implantação do cajueiro, recomenda-se que a quantidade de calcário a ser aplicadas seja suficiente para elevar a saturação por bases à 60% (CRISÓSTOMO et al., 2009). No entanto, há recomendações de aplicação de calcário para elevar a V a valores de 70% (CARNEIRO et al., 2004).

2.7 Efeitos da calagem

Os principais efeitos da calagem no solo são a elevação do pH e da V%, diminuição da acidez potencial (H+Al), incremento das concentrações de Ca e Mg (NATALE et al., 2008) e, aumento na disponibilidade de vários nutrientes como o P (NATALE et al., 2007; BEZERRA, 2013). Além disso, os efeitos da calagem nas culturas resultam no aumento da produtividade (NATALE et al., 2012).

Em pomar de laranjeira, a aplicação superficial de calcário promoveu incremento nos valores de pH, Ca, Mg, SB e V%, além de apresentar correlação negativa entre V% e acidez potencial (H+Al) (SILVA et al., 2007a). Anjos et al. (2011) observaram resultados semelhantes no que se refere aos atributos químicos de um Argissolo Amarelo; no entanto, a calagem não influenciou significativamente a produção de frutos da laranjeira.

A calagem em goiabeira proporcionou aumento no diâmetro de tronco, na altura e no volume da copa das plantas; houve, também, correlação positiva entre os atributos químicos do solo e as variáveis biométricas estudadas (SOUZA et al., 2009). Em mudas de mogno, a calagem beneficiou positivamente o diâmetro do caule, a

produção de matéria seca da parte aérea e das raízes, além de favorecer a absorção de N, P, K, Ca, Mg, Mn e reduzir a de Fe (SILVA et al., 2007b).

Em plantio de cupuaçuzeiros, a calagem melhorou a eficiência da adubação potássica e elevou a produtividade (AYRES; ALFAIA, 2007). A calagem aumentou a produtividade do milho, da soja e da aveia-preta em solos com baixas concentrações de Ca e Mg, e elevada acidez (PAULETTI et al., 2014).

Os solos do Nordeste são caracterizados por terem baixa fertilidade natural e alta acidez (RIBEIRO et al., 2009). A negligência no manejo da adubação e da calagem podem levar à baixa produtividade dos pomares (ROZANE e NATALE, 2014). Tais práticas, quando realizadas de forma adequada, estão dentre os principais fatores relacionados ao aumento do rendimento de frutíferas (NATALE et al., 2012).

Vale ressaltar que a calagem é prática indispensável em qualquer cultura instalada em solo ácido e, para o cajueiro, a correção da acidez do solo é fundamental para sua implantação, pois proporciona um melhor desenvolvimento radicular, fornece cálcio e magnésio e elevando a produção dos pomares (FIGUEIRÊDO et al., 2016).

2.8 Calagem no Cajueiro

Poucas são as informações sobre os efeitos da calagem no desenvolvimento do cajueiro, especificamente qual a saturação por bases adequada que o solo deve apresentar para que esse desenvolvimento seja máximo. A maioria dos solos brasileiro são ácidos e possuem baixa saturação por bases; logo, a prática da calagem se torna fundamental para corrigir a acidez, além de ser fonte de Ca e Mg. As quantidades de corretivo que devem ser aplicadas para corrigir a acidez do solo são obtidas por métodos que partem de uma saturação por bases inicial até uma saturação por bases mais adequada para a cultura. A saturação por bases adequada varia para cada cultura, sendo necessário determinar esse valor a fim de que se possa recomendar a quantidade de corretivo adequada.

Kumar et al. (1985), em estudos na Malásia, verificaram os efeitos da aplicação de doses de calcário (0, 2,5, 5 e 7,5 t ha⁻¹) e fósforo (0, 35, 70 e 105 kg ha⁻¹) na composição nutricional das folhas de cajueiro, cultivado em solo de área de mineração (*Tin Tailing*) e solo arenoso (*Bris Soil - Beach ridges interspersed with swales.*). A

aplicação de calcário aumentou o pH em ambos os solos; no entanto, após seis meses da aplicação, o efeito do calcário foi menos pronunciado no solo da área de mineração do que no solo arenoso. Segundo os autores o solo de mineração possuía maior conteúdo de argila e, portanto, poder tampão mais elevado. Em ambos os solos foi observado o aumento dos teores de N, P e K nas folhas do cajueiro. A dose de 5 toneladas foi adequada para a melhoria da disponibilidade de P.

Moreira et al. (2010) avaliaram o efeito da calagem em clones de cajueiro; no entanto, o trabalho foi voltado para a área de fitopatologia, observando a reação de clones comerciais à incidência de resinose. Não houve diferença entre a aplicação ou não de calcário na incidência da resinose. Uma das explicações para o resultado obtido é que a incidência da doença se inicia após os 24 meses de plantio.

Ximenes (1995) e Lima et al. (2001) avaliaram o desenvolvimento de mudas de cajueiro em diferentes substratos e adubação. O primeiro autor utilizou três tipos de solo como substrato, coletados na camada de 0-0,30 m, um Latossolo Amarelo distrófico, um Podzólico Vermelho-Amarelo (Argissolo na classificação atual) e uma Areia quartzosa distrófica (Neossolo na classificação atual), e mais um substrato composto de solo da camada de 0-0,25 m e de 0,50-0,75 m de profundidade do Podzólico, na proporção de 1:1, perfazendo 4 substratos. Lima et al. (2001) utilizaram apenas um tipo de solo como substrato, um Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico, coletado na camada de 0-0,30 m. Ximenes (1995) combinou doses de fertilizantes com calcário e gesso; para o calcário as doses foram 0, 0,25; 0,63; 1,58; 3,95 e 9,90 g $2 L^{-1}$. As doses de fertilizante e corretivo utilizados por Lima et al. (2001) basearam-se nas recomendações de Ximenes (1995), elevando as quantidades a 2 e a 4 vezes a dose inicial (0,25), mais a testemunha. Para ambos os estudos, considerando o Podzólico, não houve diferença estatística entre os tratamentos em relação ao peso da matéria seca da parte aérea; no entanto, não se pode tirar conclusões sobre o efeito do calcário nos dois estudos, pois, os outros fatores não foram controlados, havendo variação não só das quantidades de calcário, como também de fertilizantes.

Ximenes (1995) conclui que os tratamentos que apresentaram melhor desempenho foram aqueles em que houve aplicação de adubação, 2,5 kg m^{-3} e 1,0 kg m^{-3} de superfosfato triplo e KCl respectivamente. Lima et al. (2001) ressaltam que a adubação

mineral, combinada com adubação orgânica, promove incremento significativo na altura da planta, peso da matéria seca da parte aérea e número de folhas.

Aquino et al. (1997) realizaram estudo sobre a resposta do cajueiro à correção da acidez e à adubação. O experimento foi realizado em solo de baixa fertilidade, no município de Canto do Buriti, PI. Os tratamentos foram o uso de corretivos e fertilizantes, em que um dos tratamentos foi apenas a aplicação de 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, outro a aplicação de 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico mais 500 kg ha⁻¹ de gesso agrícola e, um outro, foi a aplicação de 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico e adubação recomendada. O rendimento médio de castanha de caju foi influenciado pela aplicação do calcário. O tratamento que recebeu apenas o corretivo teve acréscimo no rendimento de castanha de 100% (produção de 642,48 kg ha⁻¹), em relação ao rendimento da testemunha (320,15 kg ha⁻¹). O tratamento que obteve maior rendimento foi o que recebeu a aplicação de 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico e adubação recomendada para o cajueiro.

Várias são as citações encontradas na literatura que recomendam o manejo da calagem no plantio do cajueiro; no entanto, essas informações são apenas reproduzidas, sem experimentação, não tendo embasamento científico sobre o valor adequado da saturação por bases do solo que se deseja alcançar por meio da calagem, no momento do plantio, além da divergência nos valores de V% citados.

2.9 Critérios de calibração

A carência de informações sobre os níveis críticos de fertilidade do solo para uma determinada cultura em uma dada região faz com que se use informações de outras regiões ou de culturas semelhantes. É fundamental que os níveis críticos ou valores de referência sejam calibrados e estabelecidos para as condições edafoclimáticas locais, levando-se em consideração a cultura com a qual se deseja trabalhar (RIQUELME et al., 2013).

Determinar os níveis críticos de nutrientes para uma determinada cultura, que favoreçam seu máximo potencial produtivo, possibilitará recomendações de adubação e calagem mais eficientes, bem como o uso racional de fertilizantes e corretivos.

Os métodos de calibração são baseados na correlação entre as concentrações dos nutrientes no solo e o rendimento relativo ou a produção relativa das culturas,

podendo ser produção de grãos, massa da matéria seca, altura das plantas, dentre outros (VIEIRA et al., 2013).

Poucas são as informações sobre calagem no cajueiro, sendo a recomendação feita com base em outras frutíferas, como a mangueira. A recomendação de calagem para o cajueiro é baseada, principalmente, nos métodos de neutralização do alumínio e elevação das concentrações de cálcio e magnésio, além do método da saturação por bases (CRISÓSTOMO, 2009).

Em trabalho com umbuzeiro, a calagem favoreceu o crescimento, sendo o nível crítico de saturação por bases indicado para recomendação de calcário (V_2) para essa frutífera igual a 70%, cultivado em um Latossolo Vermelho distroférico (NEVES et al., 2008).

Um método simples para a calibração de nutrientes no solo foi proposto por Cate Junior e Nelson (1971), no qual se correlaciona o rendimento relativo da cultura e a concentração de nutrientes no solo; nesse método divide-se os dados em duas classes, na tentativa de estabelecer o nível crítico. Modelos matemáticos que levam em consideração a curva de resposta da produtividade (produção de matéria seca ou altura) também são utilizados com frequência, cujo coeficiente de determinação é um dos pontos-chave para a qualidade do modelo (SCHLINDWEIN, 2003; RAIJ, 2011).

2.10 Tolerância ao Al e efeitos no cajueiro

As altas concentrações de Al^{3+} nos solos tropicais são um dos motivos para a baixa produtividade das culturas, visto que o alumínio provoca a interrupção ou a redução da divisão celular e, com isso, a diminuição do crescimento radicular, afetando a absorção de nutrientes e água (FREITAS et al., 2016). Uma das alternativas é usar genótipos tolerantes ao alumínio (CONCEIÇÃO et al., 2008).

Os mecanismos de tolerância ao alumínio nas plantas podem ser divididos em dois grupos: externo e interno. No externo, baseado no apoplasto, o Al^{3+} é impedido de atravessar a membrana plasmática, enquanto no interno ocorre a imobilização do Al^{3+} no simplasto na forma de quelato que é armazenamento nos vacúolos (RAMPIM e LANA, 2013).

Mesmo em solos que receberam calcário para a correção da acidez, o plantio de genótipos tolerantes ao alumínio é vantajoso (HERVÉ et al., 2013), uma vez que a baixa solubilidade e a reação gradual do calcário no solo torna a correção da acidez lenta. Além disso, a calagem no cajueiro se limita à profundidade da cova, não corrigindo a acidez em profundidade. Logo, a utilização de genótipos tolerantes ao Al possibilita maior desenvolvimento do sistema radicular e, em consequência, maior resistência em situações de déficit hídrico (JANKE et al., 2010).

Avaliando a tolerância de quatro clones de cajueiro ao alumínio do solo, Parente (2000) observou que os genótipos apresentam alta variabilidade à tolerância ao Al^{3+} ; e que a absorção de P, K, Ca e Mg foi significativamente reduzida. Silva (1995) e Kumar (1981) também avaliaram o efeito do Al^{3+} em genótipos de cajueiro. Os autores concluíram que as doses de alumínio causaram uma redução da massa da matéria seca das mudas, bem como das outras variáveis biométricas, como: altura, diâmetro de número de folhas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos, sendo um sobre o efeito da calagem no desenvolvimento inicial do cajueiro, e outro para a avaliação de genótipos de cajueiro tolerantes ao Al para a produção de porta-enxertos. Ambos foram conduzidos em casa de vegetação, na Embrapa Agroindústria Tropical, em Fortaleza, Ceará.

3.1 Experimento com calagem na formação de mudas de cajueiro

Foram coletados três tipos de Argissolo na Fazenda Raposa, no município de Maracanaú situada na região Metropolitana de Fortaleza-CE. Os solos foram classificados como Argissolo Vermelho Amarelo (PVA) e Argissolo Amarelo (PA) (Figura 2).



Figura 2. Mapa pedológico e localização dos solos amostrados.
Fonte: Google Maps, Departamento de Ciências do Solo.

Os solos foram secos, destorroados e amostrados para as determinações químicas, conforme metodologia descrita pela Embrapa (2009) (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química dos solos.

ID	P	pH H ₂ O	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	H+Al	Al ³⁺	SB	T	V	m
	mg dm ³	mmolc dm ³%	
PA	14	5,2	2,5	7,3	7,3	0,5	30,9	2,6	17,6	48,4	35	13
PVA	5	4,6	1,1	1,3	2,5	0,3	38,8	10,0	5,1	43,9	12	66

Os solos foram incubados com doses crescentes de calcário dolomítico, PRNT de 91%, com CaO = 32% e MgO = 15%, em quantidades suficientes para elevar a

saturação por bases (V_2) para: PA, 45%, 55%, 65%, 75% e 85%; PVA 35%, 45%, 55%, 65%, 75% e 85%; além da $V\%$ inicial para o PA, que é 35%. O trabalho visou produzir a maior diversidade possível de valores de saturação por bases. As quantidades de calcário utilizadas para atingir a saturação desejada foram obtidas pela equação 6 (RAIJ, 1981). O delineamento experimental foi inteiramente casualizados, em esquema fatorial 2x6, dois tipos de solo (PA e PVA) e seis situações de saturação por bases (35%, 45%, 55%, 65%, 75% e 85%), com quatro repetições, totalizando 48 unidades experimentais.

Cada unidade experimental que recebeu calcário foi incubada separadamente em citrovasos com capacidade para $3,8 \text{ dm}^3$, na sua parte central do citrovaso foi colocado um tubetes de $0,288 \text{ dm}^3$, ambos foram preenchidos com solo de seu respectivo tratamento, que foram umedecidos e mantidos a capacidade de campo em torno de 70%, pelo método de pesagem. A quantidade de solo que cada vaso recebeu foi calculada em função da densidade, determinada pelo método da proveta (Tabela 2).

Tabela 2. Densidade do solo, e massa de solo em cada unidade experimental.

Solo	Dp (g cm^{-3})	kg de Solo	kg de Solo vaso	kg de Solo tubete	Vol de água a 70% da CC*
PA	1,418	4,962	4,537	0,425	0,401
PVA	1,486	5,200	4,755	0,446	0,420

*CC = Capacidade de campo

O período de incubação foi de 30 dias. Logo após a incubação, foi retirado o tubete do centro de citrovaso, sendo o solo contido no tubetes encaminhado para o laboratório para as análises químicas. O espaço deixado pelos tubetes serviu como cova para o plantio das mudas de cajueiro enxertadas (porta-enxerto CCP 06 e copa BRS 226), com idade de 4 meses. Diariamente era realizada a aplicação de água desionizada nos vasos e, quinzenalmente, eram feitas pesagem para a manutenção da umidade do solo em 70% da capacidade de campo.

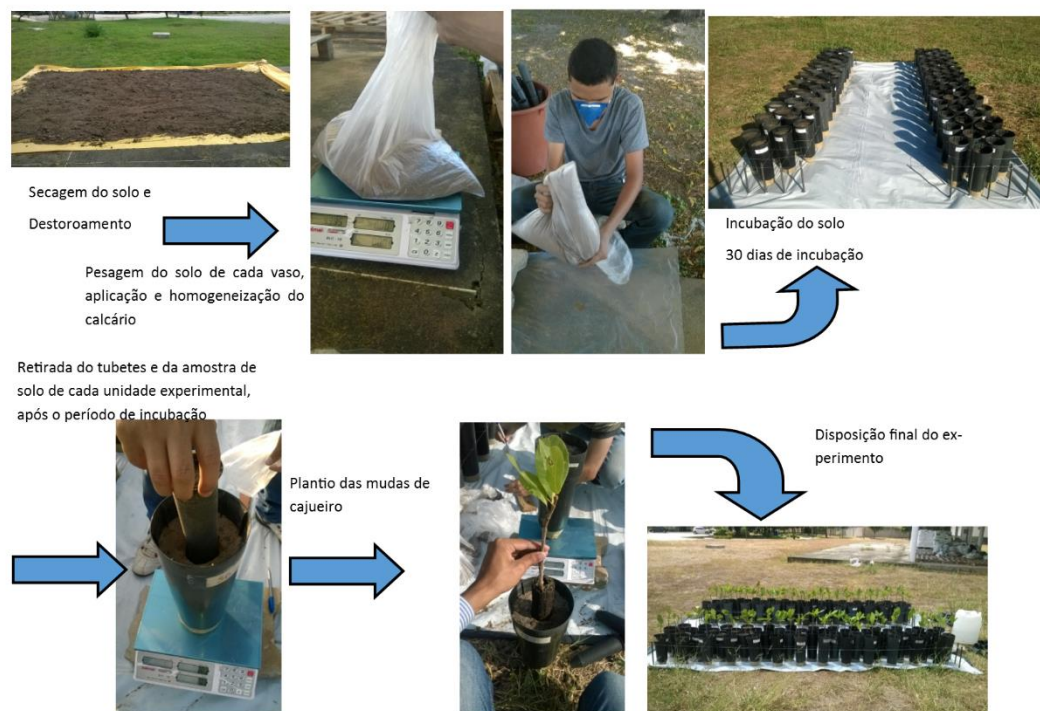


Figura 3. Representação da montagem do experimento.

Fonte: Autor

As mudas de cajueiro foram obtidas no Campo Experimental de Pacajus, pertencente à Embrapa Agroindústria Tropical. Após o plantio foi realizada a adubação padrão para vasos, de acordo com Oliveira et al. (1991) (Tabela 3). Durante o experimento foram realizadas três aplicações do inseticida Decis[®] 25 EC (Deltametrina 25 g/L), na dose de 1,5 mL L⁻¹, para o controle Tripes-da-cinta-vermelha (*Selenothrips rubrocinctus*), conforme a recomendação da bula.

Tabela 3. Nutrientes e concentrações utilizadas para a adubação dos vasos.

Nutriente	N	P	K	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Concentraçãomg nutriente / kg solo.....									
	100,0	300,0	150,0	40,0	0,8	1,3	1,6	3,7	0,2	4,0

Fonte: Oliveira et al. (1991).

3.1.1 Análise química do solo

Após o período de incubação, amostras de cada tratamento foram postas para secar ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm de abertura e, encaminhadas para as análises de rotina de pH, P, K, Ca, Mg, além dos componentes da acidez Al e H+Al. Com os dados das análises foi possível calcular a soma de base (SB),

a capacidade de troca de cátions (T), a saturação por bases (V%) e a saturação por Al (m%), de acordo com as equações 7, 8, 9 e 10 respectivamente:

$$SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+} \quad (7)$$

$$T = SB + (H + Al) \quad (8)$$

$$V\% = \frac{SB}{T} \times 100 \quad (9)$$

$$m\% = \frac{Al^{3+}}{(SB + Al^{3+})} \times 100 \quad (10)$$

em que: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+} , Al^{3+} e $H+Al$ são as concentrações desses elementos, determinados pela análise química de solo, expressas em $mmol_c dm^{-3}$, SB e CTC expressas em $mmol_c dm^{-3}$, V e m em porcentagem.

As análises seguiram a metodologia descrita pela Embrapa (2009), realizadas no Laboratório de Solos da Embrapa Agroindústria Tropical (CNPAT).

3.1.2 Análises biométricas das plantas

A avaliação das plantas de cajueiro foi realizada cinco meses após plantio, determinando-se os seguintes parâmetros biométricos: altura das plantas (do colo à gema apical), com o auxílio de uma trena; e diâmetro do caule (a cinco centímetros do colo) com o auxílio de um paquímetro digital.

3.1.4 Calibração da calagem

Com base nos resultados, relacionou-se as variáveis biométricas (após cinco meses do plantio) com a saturação por bases (obtidas pelas análises após a incubação), correlacionado o dado biométrico com seu respectivo valor de V%. O valor de V% mais adequado para a recomendação de calagem no plantio do cajueiro foi obtido pelo ponto de máxima da função resposta das variáveis biométricas e a V%.

3.2 Experimento para a seleção de genótipos tolerantes ao Al

O experimento para a seleção de genótipos de cajueiro, cujo objetivo era a formação de porta-enxertos tolerantes ao alumínio foi realizado em casa de vegetação, em delineamento em parcelas subdivididas, em que as parcelas eram cinco doses de Al na forma de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 0, 10, 20, 30 e 40 mg L^{-1} e as subparcelas oito potenciais porta-enxertos pré-avaliados (SERRANO et al., 2013): CCP 06, CCP 09, CCP 76, CCP 1001, Embrapa 51, BRS 189, BRS 265 e BRS 275, com dez repetições, totalizando 400 plantas.

Como substrato para a obtenção dos porta-enxertos foi usada a areia lavada. A areia foi peneirada e, em seguida, lavada com água corrente; posteriormente, foi imersa em solução de HCl a 10% por cerca de 24 horas, enxaguada com água corrente até que o pH do sobrenadante (mistura de água e areia) se estabilizasse em torno de 6,5 (pH da água da torneira). Após a lavagem, a areia foi posta para secar. Tubetes de 288 mL foram preenchidos com a areia lavada e usados como recipiente para a produção dos porta-enxertos. Em seguida, realizou-se a semeadura dos genótipos, colocando uma semente por tubete. Desde a semeadura até o início da aplicação dos tratamentos, a irrigação do experimento foi feita com água, fornecida pela rede da unidade (Figura 4).



Figura 4. Sequência da montagem do experimento para a seleção de genótipos tolerantes ao Al.

Fonte: Autor.

Quarenta e cinco dias após a semeadura teve início a aplicação das doses de alumínio, bem como da solução nutritiva. Esta solução foi preparada de acordo com Simon et al. (1994), correspondendo a 100% da concentração da solução de Hoagland e Arnon: KNO_3 (0,5 mM); $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (0,5 mM); $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,2 mM); KH_2PO_4 (0,1 mM); KCl (50 μM); H_3BO_3 (46 μM); Fe-EDTA (20 μM); $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (2 μM); $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (1 μM); $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (0,3 μM) e $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0,5 μM). As quantidades de solução aplicadas foram suficientes para saturar a areia lavada. Durante o experimento, tanto o pH da água, quanto das soluções, foi mantido em $4 \pm 0,2$, regulado com solução de HCl 1 M para evitar a precipitação do Al. Com o auxílio do aplicativo Visual MINTEQ 3.1 (GUSTAFSSON, 2013) foi calculada a especiação do alumínio dos tratamentos e, em média, 93% do Al estava na forma de Al^{3+} (forma tóxica para as plantas).

As soluções de Al e nutritiva foram aplicadas da seguinte forma: pela manhã era aplicada água desionizada para lavar o excesso da solução do dia anterior, seguida da aplicação da solução nutritiva. A tarde, era aplicada, novamente, água desionizada para lavar a solução nutritiva colocada pela manhã e, em seguida, adicionada a solução com

as doses de Al. A aplicação separadamente das soluções de alumínio e nutritiva evitam que o Al interfira na absorção, transporte e uso do Mg e Ca (VILLAGARCIA et al., 2011).

3.2.1 Avaliações biométricas

Oitenta dias após o início da aplicação das doses de alumínio (125 dias após a semeadura), as plantas foram avaliadas quanto à biometria: altura, número de folhas e diâmetro do caule. Logo após as avaliações biométricas, as plantas foram cortadas no colo, separando-se a parte aérea (caule e folhas) do sistema radicular (raízes fina e grossa), que foram acondicionados em sacos de papel e postas para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingir massa constante. Em seguida, determinou-se a massa da matéria seca do caule, das folhas, das raízes fina e grossa, do total da parte aérea e de raízes, e total por planta.

Antes de pôr para secar, as raízes grossas foram escaneadas, obtendo-se imagens digitais. Em seguida as imagens foram processadas pelo software Safira (Jorge & Rodrigues, 2008), obtidos as seguintes variáveis: volume (mm³), área superficial (mm²) e diâmetro ponderado de raízes (mm).

3.2.2 Nível de toxidez e genótipos tolerantes ao Al

A dose que causa toxicidade foi estimada pelas equações de regressão, com base nas variáveis biométricas que tiverem efeito significativo a 5% do teste F. Segundo Parente (2000), as variáveis altura e diâmetro das plantas são bons indicadores para a seleção de genótipos tolerantes ao alumínio.

3.3 Análise estatística dos dados

Os dados foram analisados utilizando-se o programa computacional SISVAR; realizou-se análise univariada: Anova, teste de médias (Scott-Knott) e regressão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Efeitos da saturação por bases no cajueiro

Houve interação significativa entre os dos fatores avaliados, aplicação das doses de calcário (saturações por bases desejada), e os solos, para a maioria das variáveis avaliadas, exceto para as concentrações de fósforo e cálcio (Tabela 4).

Para o fator Solo não houve diferença para a variável saturação por bases, ou seja, mesmo se tratando de dois solos diferentes, apresentaram o mesmo gradiente de saturação por bases, que é o objetivo do deste trabalho. No entanto, para os demais atributos químicos do solo, houve diferença significativa entre os dois tipos de solo. Essa diferença pode ser explicada pelas propriedades químicas iniciais de cada solo que diferem (Tabela 1). Mesmo diferindo, a capacidade de trocas de cátions (T) dos dois solos é numericamente igual e são classificadas na mesma faixa de interpretação de análise de solo (RIBEIRO et al., 1999).

Esses efeitos da aplicação de calcário ao solo são bastante conhecidos, visto que, ao reagir com água, o corretivo se dissocia em Ca e Mg, HCO_3^- e OH^- . A elevação do pH se dá pela reação dos íons H^+ com o hidróxido produzido pela reação do calcário. O Ca e Mg presente no calcário ajuda a deslocar o Al presente nos coloides do solo, sendo hidrolisado por íons OH^- , formando $\text{Al}(\text{OH})_3$, forma insolúvel e que não é tóxico às plantas. Os valores de SB, T e V%, que são dependentes de Ca e Mg (Eq. 7, 8 e 9), elevaram-se proporcionalmente ao aumento das concentrações de Ca e Mg.

Tabela 4. Médias dos atributos químicos do solo, altura e diâmetro das plantas de cajueiro, e resumo da análise de variância.

Solo	Saturação (%)	pH H ₂ O	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	H+Al	Al ³⁺	SB	T	V	m	Diâmetro	Altura
			mg dm ³	mmol _c dm ³						%		mm	cm		
PA	35	5,09	14,96	3,33	9,00	4,64	0,25	29,62	2,24	17,22	46,83	36,77	0,11	12,08	28,08
PA	45	5,27	15,43	3,29	12,09	7,09	0,36	25,31	0,70	22,84	48,15	47,41	0,03	11,42	25,63
PA	55	5,92	15,47	3,12	14,11	9,46	0,23	21,57	0,00	26,91	48,49	55,51	0,00	9,85	23,75
PA	65	6,00	15,70	3,06	17,29	10,82	0,24	16,75	0,00	31,41	48,16	65,22	0,00	9,40	24,40
PA	75	6,42	15,69	3,26	18,85	12,23	0,43	14,48	0,00	34,77	49,25	70,63	0,00	8,23	24,75
PA	85	6,56	14,98	3,32	20,30	11,24	0,32	12,91	0,00	35,18	48,09	73,15	0,00	8,82	22,10
PVA	35	5,34	6,48	1,15	9,91	5,80	0,24	28,50	1,57	17,11	45,61	37,54	0,08	9,62	24,58
PVA	45	5,48	6,35	1,12	12,43	9,72	0,29	25,33	0,00	23,57	48,90	48,20	0,00	11,38	28,78
PVA	55	6,10	6,37	1,04	13,26	8,01	0,11	17,72	0,00	22,43	40,15	55,92	0,00	10,49	25,20
PVA	65	6,14	6,78	1,13	15,64	10,99	0,23	16,24	0,00	27,99	44,23	63,22	0,00	10,96	26,80
PVA	75	6,39	6,99	1,10	19,91	12,96	0,20	12,76	0,00	34,16	46,92	72,71	0,00	10,79	25,25
PVA	85	6,55	7,03	1,17	19,20	12,59	0,17	10,95	0,00	33,13	44,08	75,22	0,00	8,49	25,00
Solo (S)		23,86**	3289,48**	10458,65**	0,42 ^{ns}	17,79**	23,14**	21,51**	34,23**	18,23**	47,07**	1,44 ^{ns}	31,24**	1,32 ^{ns}	7,26*
Saturação (V%)		308,40**	1,56 ^{ns}	7,90**	103,29**	151,33**	5,43**	279,18**	254,65**	204,21**	7,24**	419,61**	321,13**	8,01**	6,25**
S x V%		3,70**	1,40 ^{ns}	3,71**	1,99 ^{ns}	9,33**	3,11*	2,84*	13,70**	4,53**	7,42**	1,13**	12,52**	6,34**	5,61**
CV %		1.47	4.77	3.29	7.51	6.53	27.58	5.88	35.97	4.94	3.45	3.39	33,00	9.58	5.84

ns, * e **: não significativo, significativo a 5% e a 1% de probabilidade respectivamente.

As doses de calcário para os dois tipos de solos foram diferentes em virtude da característica inicial de cada um (Tabela 1), mas objetivando chegar as mesmas saturações por bases desejadas. Entretanto o comportamento do calcário foi o mesmo em ambos os solos (Figura 5).

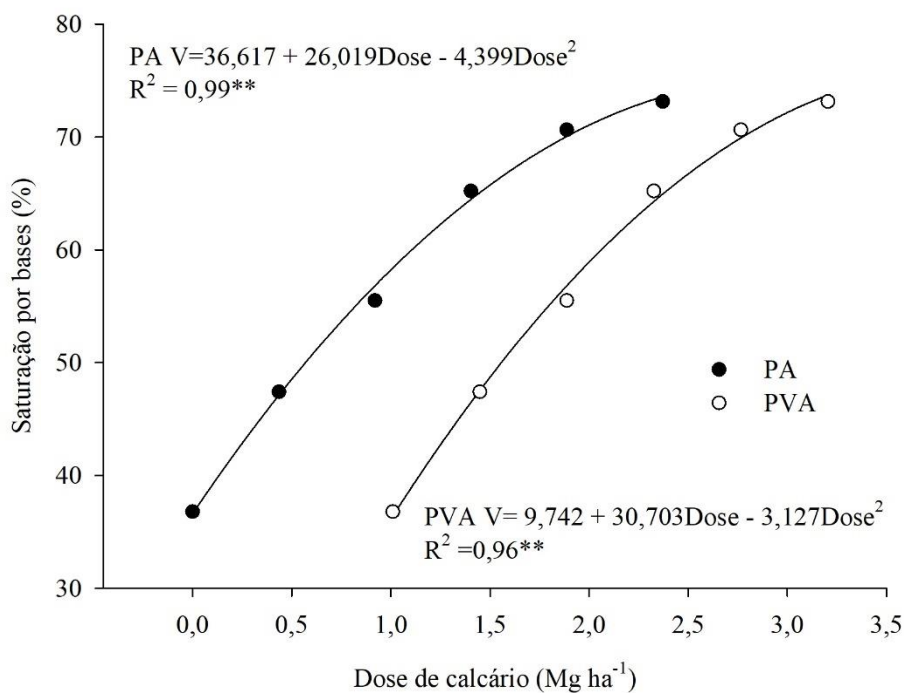


Figura 5. Efeito das doses e calcário na saturação por base, em cada solo.
** Significativo $P < 0,01$.

O fato de não terem sido alcançadas as saturações por bases calculadas pelo método nas doses mais elevadas, pode ser explicado pelo pouco tempo de reação do calcário com o solo e, também, pela variação da umidade do solo. Sousa et al. (2014) observaram o mesmo efeito da incubação em um Argissolo ao longo do tempo. Inicialmente, há pequena reação do calcário e, gradativamente, com passar do tempo, o calcário continua reagindo e elevando o pH, bem como os valores de V%.

Outra relação significativa obtida foi entre a saturação por bases e o pH (Figura 6). A saturação por bases teve, também, uma boa relação com as concentrações de cálcio e magnésio (Figura 7 e 8).

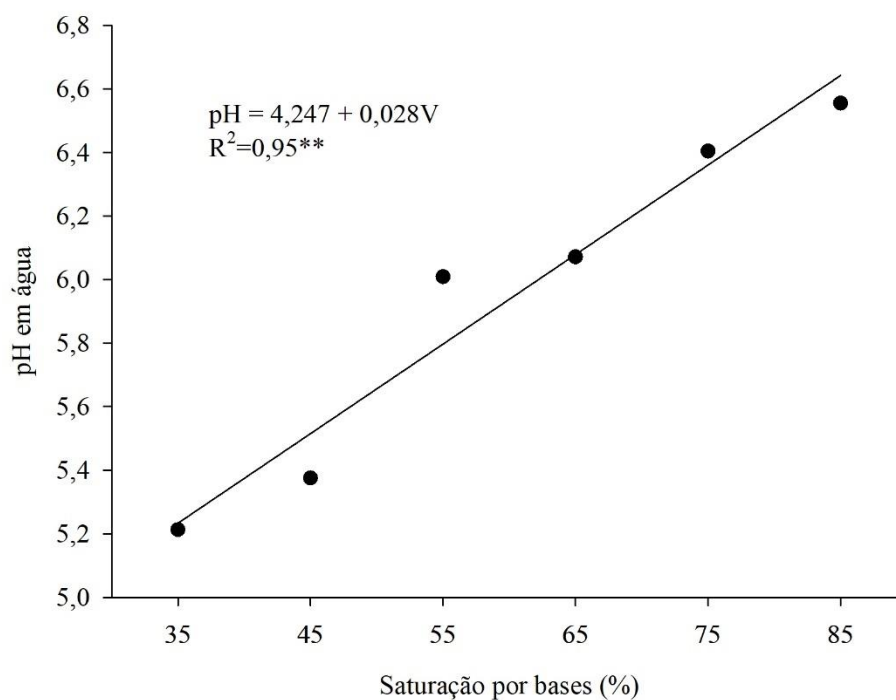


Figura 6. Relação entre a saturação por bases e o pH. Os pontos são médias de oito repetições em cada nível saturação por bases. ** Significativo $P < 0,01$.

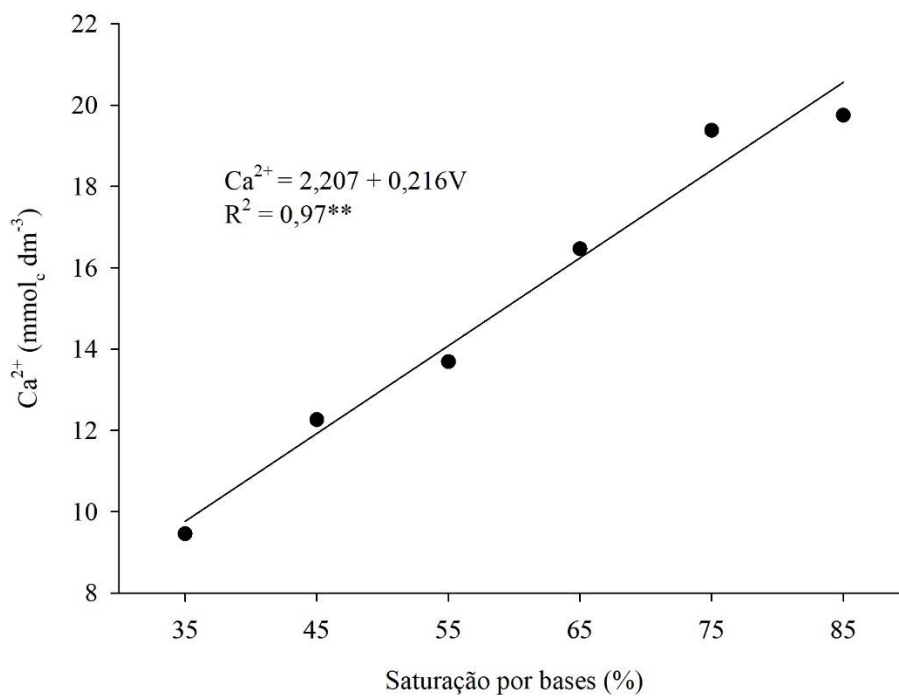


Figura 7. Relação entre a saturação por bases e as concentrações de Ca^{2+} . Os pontos são médias de oito repetições em cada nível saturação por bases. ** Significativo $P < 0,01$.

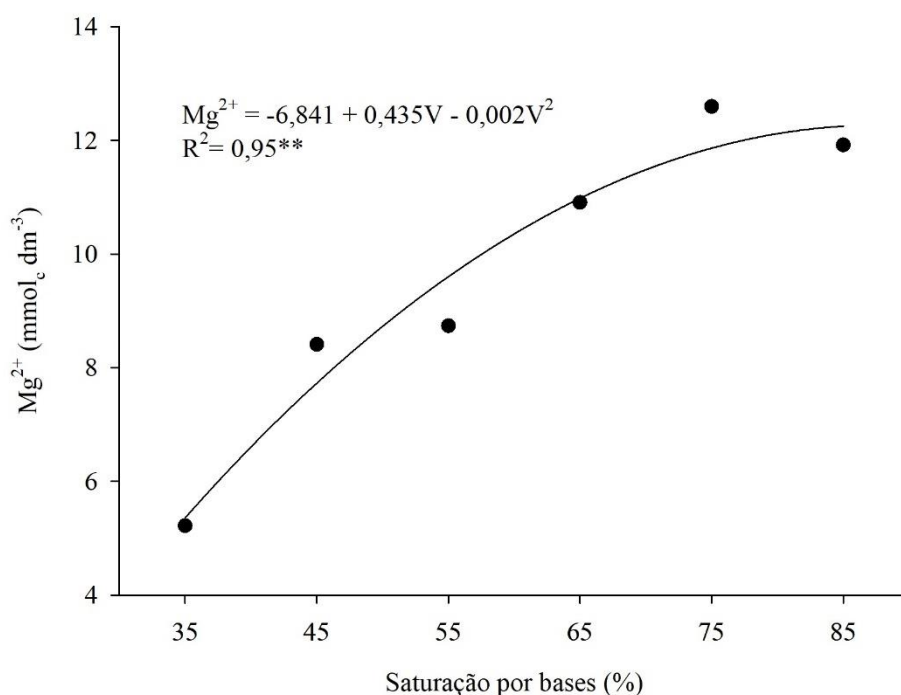


Figura 8. Relação entre a saturação por bases e as concentrações de Mg²⁺. Os pontos são médias de oito repetições em cada nível saturação por bases. ** Siginiificativo P<0,01.

Esse aumento nas concentrações de Ca²⁺ e de Mg²⁺ são devido a aplicação de calcário, que é composto por carbonatos de Ca e Mg. A disponibilidade desses cátions em solução explicam a diminuição da acidez trocável e potencial do solo (Figura 9 e 10), apresentando uma relação inversa com o pH, e por consequência com a saturação por bases (Figura 6). Após o início das reações de dissociação de dos carbonatos e neutralizando a acidez do solo, ocorrendo a precipitação do Al³⁺ e, sem seguida, a do hidrogênio.

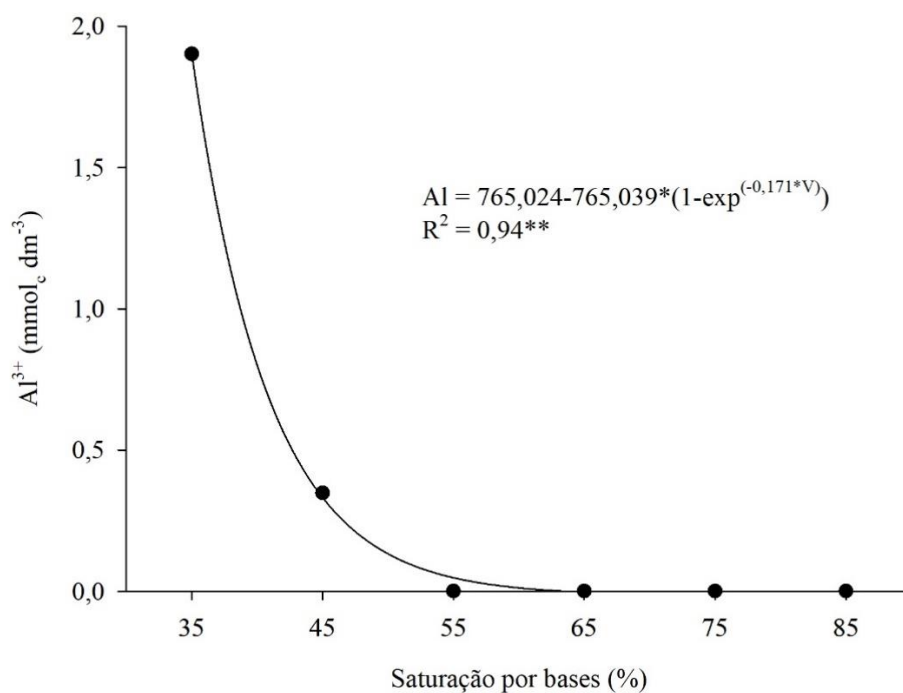


Figura 6. Relação entre a saturação por bases e as concentrações de Al^{3+} . Os pontos são médias de oito repetições em cada nível saturação por bases. ****** Significativo $P < 0,01$.

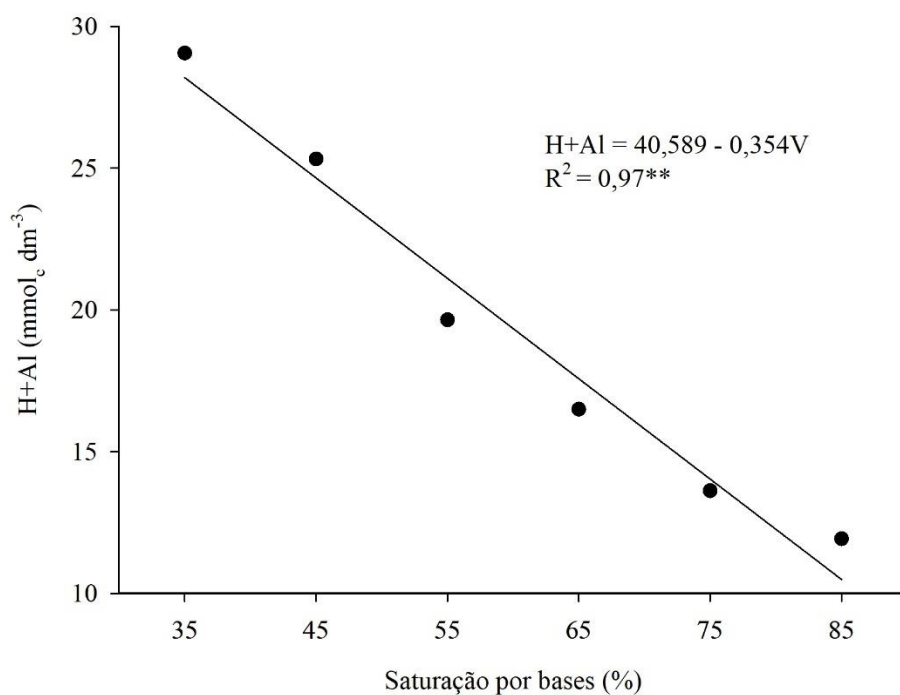


Figura 7. Relação entre a saturação por bases e a $\text{H} + \text{Al}$. Os pontos são médias de oito repetições em cada nível saturação por bases. ****** Significativo $P < 0,01$.

Valores de pH acima de 5,5 favorecem a precipitação do Al^{3+} na forma de $\text{Al}(\text{OH})_3$. Em pH abaixo de 5,5, o Al^{3+} causa efeitos depressivos na absorção de alguns nutrientes, a saber: Mg, Ca, P e K.

Resultados similares foram observados por Natale et al. (2008), ao avaliarem os efeitos da calagem na implantação e formação de um pomar de caramboleiras.

Com as doses de calcário houve aumento na disponibilidade de P, devido a liberação do P adsorvido aos óxidos, que se tornam mais solúveis a elevação do pH. Costa et al. (2016) constataram aumento na disponibilidade de P, bem como elevação da eficiência da adubação fosfatada pela aplicação de calcário. Bezerra et al. (2013) verificaram efeito significativo da calagem na absorção de fósforo, elevando a concentração deste elemento em diferentes solos do estado do Ceará. Silva et al. (2014b) observaram que o fornecimento de calcário afetou significativamente e de forma linear a disponibilidade de P, em solo da Amazônia. Já Campanharo et al. (2007) não observaram efeito significativo entre as doses de CaCO_3 e P, em diferentes solos. A explicação dos autores foi a baixa concentração inicial de P dos solos estudados.

Na tabela 5 pode-se perceber a correlação positiva das doses de calcário com os valores de pH e as concentrações de Ca e Mg, bem como a correlação negativa com os valores de alumínio e H+Al, evidenciando os efeitos já mencionados. O pH teve correção significativa com a maioria das variáveis, principalmente com as concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} e V%, e inversamente proporcional aos componentes da acidez do solo. A altura das plantas teve uma correlação negativa com a saturação por bases, o mesmo para o diâmetro das; entretanto, as correlações entre saturação por bases e as variáveis altura e diâmetro são muito baixa, de 40% e 52% respectivamente. Resultados diferentes foram obtidos por Hernandez et al., (2010), ao avaliarem a calagem no crescimento e desenvolvimento da caramboleira. Os autores observaram correlação positiva e significativa entre altura e as concentrações de cálcio, de magnésio e saturação por bases.

As concentrações de Ca^{2+} estiveram associadas à correção da acidez do solo, pH e H+Al, elevação da soma de bases e, conseqüentemente, da saturação por bases. Os mesmos resultados foram observados por Fidalski e Tormena (2005), quando avaliada a dinâmica da calagem superficial em um Latossolo. Essa relação maior, da acidez do solo, com o Ca^{2+} é porque o calcário utilizado tem um teor maior desse elemento quando comparado com o Mg^{2+} , que também mostrou uma forte correlação.

Tabela 5. Correlação de Pearson para os atributos químicos do solo e as variáveis biométricas altura e diâmetro das plantas de cajueiro.

Variáveis	pH água	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	H+Al	Al ³⁺	SB	CTC	V	m	Diâmetro
P	-0.084												
K ⁺	-0.132	0.986											
Ca ²⁺	0.900	0.071	0.015										
Mg ²⁺	0.857	-0.104	-0.161	0.894									
Na ⁺	-0.094	0.465	0.496	0.077	0.050								
H+Al	-0.952	0.084	0.135	-0.923	-0.872	0.103							
Al ³⁺	-0.749	0.123	0.190	-0.704	-0.818	0.036	0.745						
SB	0.877	0.170	0.115	0.980	0.930	0.165	-0.896	-0.733					
T	-0.123	0.561	0.549	0.167	0.168	0.590	0.184	-0.008	0.271				
V	0.942	0.014	-0.040	0.968	0.923	0.005	-0.982	-0.764	0.963	0.003			
m	-0.735	0.102	0.168	-0.701	-0.811	0.019	0.741	0.998	-0.732	-0.016	-0.762		
Diâmetro	-0.551	-0.122	-0.095	-0.557	-0.451	-0.109	0.504	0.339	-0.542	-0.107	-0.524	0.327	
Altura	-0.429	-0.280	-0.250	-0.415	-0.251	-0.040	0.413	0.248	-0.397	0.015	-0.402	0.244	0.594

Valores em negrito são representam correlação significativa a 5% de probabilidade.

Houve efeito significativo entre a saturação por bases e as variáveis biométricas altura e diâmetro do cajueiro (Figura 10 e 11 respectivamente).

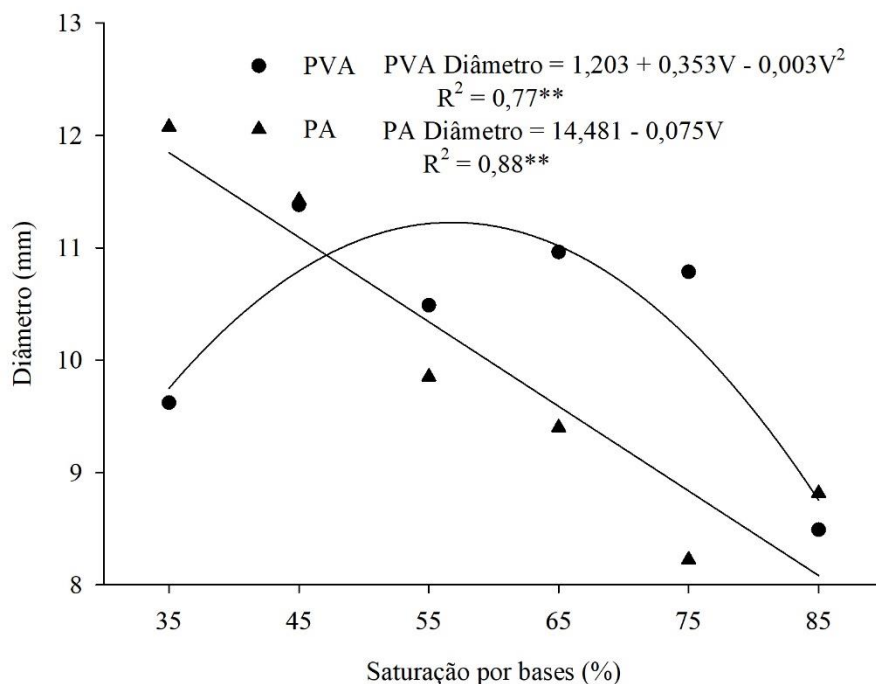


Figura 8. Relação entre a saturação por bases e a diâmetro de plantas de cajueiro. Os pontos são médias de quatro repetições de cada nível de saturação, e em cada solo.
 ** Significativo $P < 0,01$.

A saturação por bases quando relacionada com o diâmetro das plantas, mostrou efeito quadrático para o solo PVA, com ponto de máxima em 56,8%, e linear para o solo PA. A diferença da resposta do cajueiro nos dois solos pode ser explicada pela condição de fertilidade inicial de cada um (Tabela 1). O solo PA tem uma condição de fertilidade melhor que o solo PVA, com isso a resposta das plantas à calagem é mais pronunciada no solo PVA, que é mais ácido que o PA.

O diâmetro é um bom indicador morfológico para avaliar o desenvolvimento de mudas. Efeito quadrático semelhante foi observado por Teixeira e Macedo (2011), avaliando o efeito da calagem e do fósforo na formação de mudas de biribazeiro. Os autores indicaram, ainda, que a diminuição no diâmetro observado nas saturações por bases mais elevadas pode estar relacionada ao aumento da disponibilidade de Ca^{2+} e redução da absorção de K^+ . Em contraponto, Artur et al. (2007) observaram que a calagem não teve efeito nos valores de diâmetro em mudas de guanandi.

O aumento do diâmetro das plantas de caramboleira esteve associado com a maior disponibilidade e absorção de Ca e Mg fornecidos pela calagem, que melhoram o ambiente radicular, refletindo no aumento do diâmetro (HERNANDES et al., 2010).

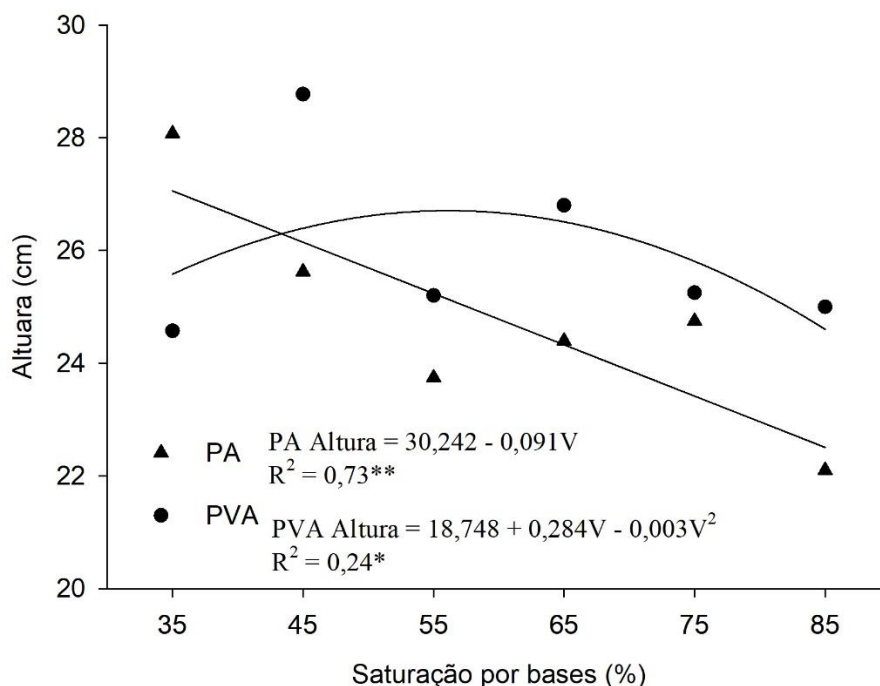


Figura 9. Relação entre a saturação por bases e a altura de plantas de cajueiro. Os pontos são médias de quatro repetições de cada nível de saturação, e em cada solo. ** Significativo $P < 0,01$.

A altura das plantas de cajueiro apresentação o mesmo comportamento que o diâmetro apresentou. O ponto de máxima da curva, que apresenta o valor da saturação por bases que foi responsável pela maior altura, 26,71 cm, foi de 56,1%, valor abaixo dos 60 ou 70% recomendados para a calagem do cajueiro (CRISÓSTOMO et al., 2009; CRISÓSTOMO et al., 2013).

Correia (2009) avaliou os efeitos da calagem na nutrição e no crescimento da mangueira, aplicando doses crescentes de calcário (0; 2; 4; 6 e 8 t ha⁻¹), em experimento conduzido em um Latossolo Vermelho distrófico (V = 28%). Concluíram que a calagem proporcionou melhorias nos atributos químicos do solo, mas, que não promoveu alterações no crescimento da mangueira. A maior produção de frutos (cv. Palmer) esteve associada com a dose de 4 t ha⁻¹ de calcário, correspondendo a saturação por bases de 52%. Um estudo semelhante foi realizado por Almeida (2008), com a aplicação de doses de calcário (0; 1,55; 3,10; 4,65 e 6,20 t ha⁻¹), também em um Latossolo Vermelho

distrófico ($V = 49\%$). Assim como Correia (2009), o autor verificou que a aplicação de calcário proporcionou melhorias nos atributos químicos do solo. Entretanto, no estudo de Almeida (2008), a maior produção de frutos (cv. Haden) foi associada com a saturação por bases de 71%, com a dose de $4,6 \text{ t ha}^{-1}$. Em ambos os estudos, a referência da saturação por bases ideal para a mangueira era 80%, conforme sugerida por Raij et al. (1997).

Há trabalhos que recomendam a aplicação de calcário em função dos teores de Ca e Mg presentes no solo. Ramos et al. (1993) destacam nas recomendações de calcário para o cajueiro, as quantidades seriam suficientes para fornecer Ca e Mg em até $2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. No entanto, Crisóstomo et al. (2013) recomendam que as quantidades devem ser suficientes para atingir $6 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de Ca e $3 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de Mg.

Correlacionando o ponto de máxima obtido pela função entre saturação por bases e altura, com as concentrações de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ na equação da Figura 7 e 8, tem-se o valor de $14,30 \text{ mmol}_c$ de Ca^{2+} e $11,25 \text{ mmol}_c$ de $\text{Mg}^{2+} \text{ dm}^{-3}$, que deve ser garantido para o bom desenvolvimento do cajueiro.

Em trabalho realizado por Silva et al. (2008), os autores concluíram que a produção máxima de matéria seca da parte aérea de mudas de bananeira foi obtida com a concentração de Ca, Mg e K de $2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $0,9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; e $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Natale et al. (2008) concluíram que a maior produção acumulada de frutos de caramboleira esteve associada à saturação por bases de 40%. Para a goiabeira a maior produção acumulada associou-se com a saturação por bases próxima a 50% na linha de plantio (NATALE et al., 2007). A saturação por bases de 70% foi indicada por Neves et al. (2008) para o cálculo da necessidade de calagem para umbuzeiro, a qual favoreceu o crescimento das mudas. Para espécies florestais como o jatobá, saturação por bases maior que 40% levaram a diminuição do crescimento das mudas (VIEIRA et al., 2015).

O decréscimo da altura do cajueiro em saturações maiores que 56 % pode ser reflexo da baixa exigência em Ca e Mg na fase inicial da planta, por ser espécie rústica e adaptada a condições de baixa fertilidade; além disso, pode ter havido efeito indireto do pH sobre os micronutrientes. A elevação do pH, pela aplicação do calcário, indisponibilizou a maioria dos micronutrientes, principalmente o Fe (Figura 1), que pôde

ser constatado pela observação de sintomas visuais de deficiência deste nutriente (Figura 13).



Figura 13. Sintomas de deficiência de Fe nas plantas de cajueiro que receberam doses para elevar a saturação por bases a 85%.

Fonte: Autor.

Segundo Oliveira et al. (2013), o crescimento do cajueiro é fortemente afetado pela deficiência de ferro, e que, logo no primeiro mês, os sintomas são evidentes, iniciando com a clorose nas folhas mais jovens, que se tornam, posteriormente, translúcidas com tons esbranquiçados.

Neves et al. (2008) relataram que o aumento da saturação por bases do solo reduziu os teores de N, P, K, Cu, Fe, Mn e Zn em mudas de umbuzeiro. Natale et al. (2008) observaram aumento nos teores foliares de Ca e Mg e os outros nutrientes, mantiveram-se na faixa adequada.

Vale ressaltar que a resposta de plantas perenes aos insumos, em especial as frutíferas, demanda tempo, cujas alterações são gradativas no sentido: propriedades do solo, teores foliares de nutrientes e, por último, produção e qualidade de frutos (SILVA et al., 2007a).

Inicialmente o cajueiro demonstra ser pouco exigente em Ca e Mg, no entanto, isso não significa que a calagem seja uma prática desnecessária, muito pelo contrário. Após a implantação de um pomar não é aconselhável revolver o solo, pois tal prática pode danificar o sistema radicular das frutíferas. Logo, a prática da calagem deve ser feita antes da implantação dos pomares, em profundidade e bem incorporado, visto que aplicações

superficiais atuam lentamente nas camadas mais profundas do solo (NATALE et al., 2012). Rozane e Natale (2014) destacam que a calagem é um investimento a longo prazo, e seus benefícios perduram por anos, devido a longa duração do seu efeito residual.

4.2 Seleção de genótipos tolerantes ao alumínio

Os diferentes genótipos não manifestaram sintomas visuais de toxicidade por alumínio na parte aérea, durante os oitenta dias de condução do estudo. Houve efeito significativo da interação entre genótipos e doses de Al para número de folhas e diâmetro de caule ($P < 0.01$), não houve efeito da interação para altura para os porta enxerto de cajueiro, houve apenas para as fontes de variação insoladas; houve diferença significativo dos genótipos sobre a altura, o número de folhas e diâmetro das plantas ($P < 0.01$) (Tabela 6).

Tabela 6. Altura, número de folhas e diâmetro do caule de oito genótipos de cajueiro, após 80 dias de aplicação de alumínio.

FV		Altura (cm)	Número de folhas	Diâmetro do caule (mm)
Genótipos	‘CCP 06’	41,78 c	15,13 b	10,65 b
	‘CCP 09’	43,09 c	16,90 c	10,86 b
	‘CCP 76’	43,78 c	15,87 b	10,64 b
	‘CCP 1001’	45,98 d	17,13 c	10,92 b
	‘Embrapa 51’	39,36 b	11,84 a	10,00 a
	‘BRS 189’	48,54 e	17,87 c	10,28 a
	‘BRS 265’	41,88 c	16,41 b	9,90 a
	‘BRS 275’	34,07 a	15,67 b	10,54 b
Doses de Al	0	38,31	16,44	10,81
	10	43,19	16,26	10,33
	20	43,30	15,32	10,25
	30	45,08	16,58	10,43
	40	41,67	14,65	10,53
Teste F				
FV		Altura	Número de folhas	Diâmetro do caule
Doses de Al (D)		5,159 **	2,564 ns	1,433 ns
Genótipos (G)		27,704 **	14,800 **	5,264 **
D x G		0,053 ns	2,099 **	2,225 **
CV % Doses de Al		18,31	22,74	12,19
CV % Genótipos		10,69	16,53	8,85

¹ Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si por meio de Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

² ns e **: Não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente.

O diâmetro variou entre os genótipos, em que o CCP 1001 teve maior média de diâmetro, 10,92 mm, enquanto o BRS 265 a menor média (9,90), mas que não diferiu dos genótipos BRS 189 e Embrapa 51. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva (1995), ao avaliar quatro genótipos de cajueiro (Microcarpo, CP-06, P-32, CP-137 e CP-139), em diferentes níveis de saturação por alumínio ($m = 0\%$, 20% , 34% e 46%), havendo diferença apenas entre os genótipos. A diferença entre os genótipos é causada pela variabilidade presente nos clones utilizados. Entretanto, Parente (2000) verificou diminuição nos valores de diâmetro de quatro genótipos de cajueiro (Embrapa 51, CCP-06, CCP-76 e Microcarpo), cultivados em doses crescente de Al^{3+} (0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5 $cmol_c\ dm^{-3}$). Em goiabeira, Salvador et al. (2000) observaram decréscimo significativo no diâmetro das mudas, sendo sensível a doses superiores a $10\ mg\ L^{-1}$ de Al^{3+} .

Os genótipos BRS 275 e CCP 09 foram os únicos que tiveram um ajuste de um modelo de regressão significativo para a relação entre as doses de alumínio e o diâmetro dos porta-enxertos de cajueiro (Figura 14).

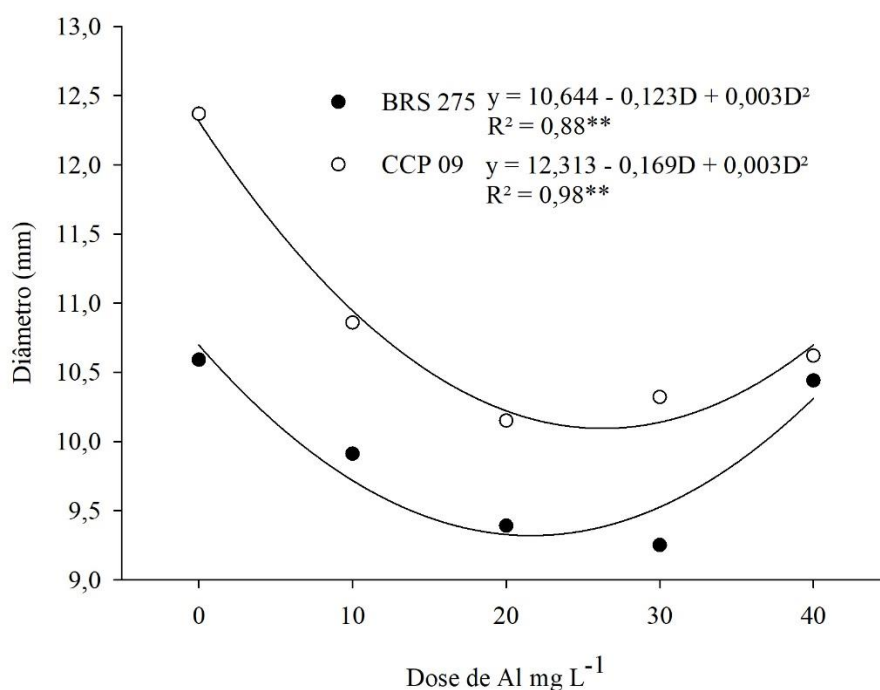


Figura 14. Diâmetro dos genótipos de cajueiro em função das doses de alumínio.
** Significativo a 1% de probabilidade.

Houve ajuste quadrático negativo da relação entre diâmetro e as doses de alumínio; ao contrário da literatura que sugere ajuste linear negativo ou quadrático positivo. Não há uma explicação para esse comportamento.

Segundo Serrano et al. (2013) o conhecimento do diâmetro do caule das plantas dos diferentes genótipos é de grande importância para a tomada de decisão de quando se deve fazer a enxertia. Os autores afirmam que as plantas com maiores diâmetros de caule poderão ser enxertadas precocemente. Sendo assim, as doses de alumínio, em um primeiro momento, levaram a diminuição do diâmetro do caule das plantas; e em seguida um aumento. Entretanto, o aumento do diâmetro do caule com a elevação das doses de alumínio não é satisfatório, uma vez que esse aumento implica na redução do número de folhas e da altura das plantas (Tabela 6).

Com o incremento das doses de Al^{3+} houve redução linear do número de folhas para os genótipos Embrapa 51 e BRS 265, já para o BRS 189 a redução foi de forma quadrática; para os demais genótipos não houve ajuste significativos dos modelos (Figura 15). Para o genótipo BRS 189 o ponto de máxima foi na dose $18,4 \text{ mg L}^{-1}$. Para os demais genótipos não houve efeito das doses de alumínio sobre essa característica.

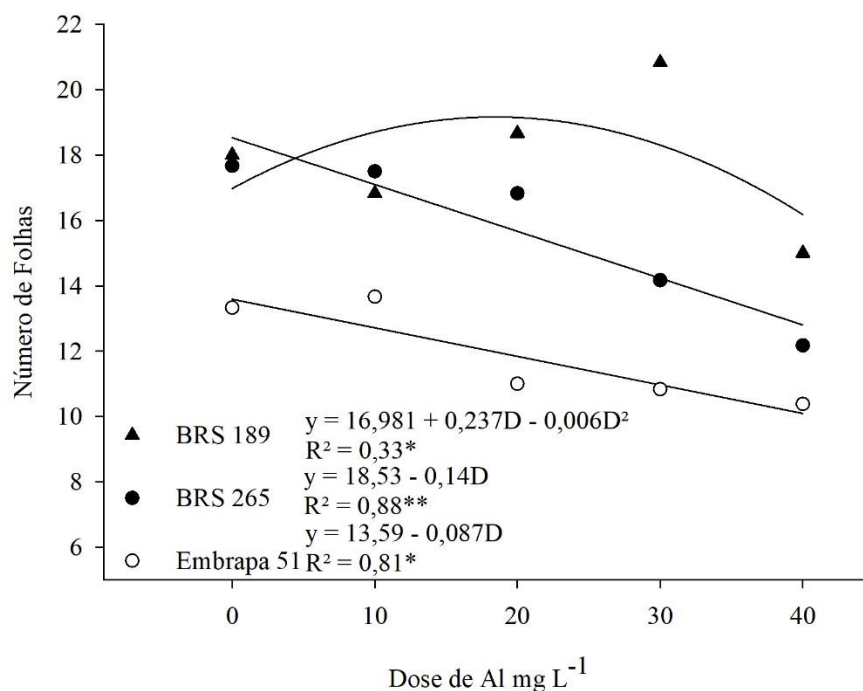


Figura 15. Número de folhas de genótipos de cajueiro em função de doses de alumínio. * e ** Significativo a 5% e a 1% de probabilidade respectivamente.

Entre os genótipos houve variação no número de folhas e, em média, o genótipo BRS 189 apresentou o maior valor dessa variável. As concentrações de Al^{3+} em solução nutritiva causaram redução linear no número de folhas de pinhão-manso (LANA et al., 2009). Silva (1995) não obteve efeito significativo para o número de folhas das mudas de cajueiro, em função da aplicação de alumínio. No entanto, Parente (2000) observou redução do número de folhas com o aumento das doses de alumínio.

Para a variável altura de plantas, houve apenas o efeito isolado das doses de alumínio, com comportamento quadrático positivo, com máxima na dose de $23,5 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 16).

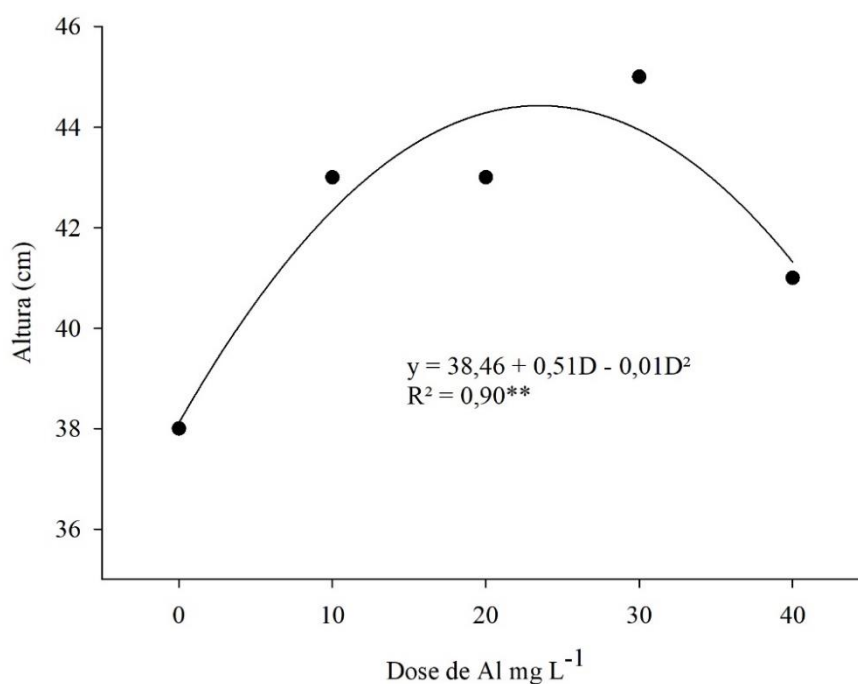


Figura 16. Altura de genótipos de cajueiro em função de doses de alumínio. Os pontos são médias das repetições de cada nível de alumínio.
** Significativo a 1% de probabilidade.

Salvador et al. (2000) relatam que o alumínio em pequenas quantidades pode levar ao aumento no crescimento das plantas. A explicação possível para essa causa é o aumento da solubilidade e disponibilidade de Fe, diminuindo a disponibilidade de alumínio, pois, quando há alumínio, há acidez.

Parente (2000) observou a diminuição da altura dos genótipos de cajueiro a partir da dose de alumínio de $2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para as mudas do genótipo Embrapa 51; para

os demais genótipos (CP-06, CP-76) o efeito das doses do alumínio foi linear negativo. Já Silva (1995) não observou efeito significativo das doses de alumínio para a altura de plantas nos genótipos Microcarpo, P-32 e CP-137.

De maneira prática, a altura dos porta-enxertos pouco influenciará na seleção de genótipos, uma vez que no momento da enxertia todas as plantas não cortadas na mesma altura.

Quanto a produção de massa da matéria seca das diferentes partes da planta (Tabela 7), não houve diferença significativa da produção de massa da matéria seca de caule, de folhas e de parte aérea (caule + folhas), de raízes grossas e do total de raízes em função das doses de alumínio, apenas para matéria seca de raiz fina. Diferença significativa entre os genótipos e interação entre dose e genótipo para massa da matéria seca de caule. Como já justificado anteriormente, a causa é a alta variabilidade genética dos genótipos de cajueiro. Serrano et al. (2013) observaram alta variabilidade entre os genótipos de cajueiro, ao avaliarem clones potenciais para produção de porta-enxerto. Pontes et al. (2011) também observaram alta variabilidade entre grupos de cajueiro gigante e anão, ao avaliarem a resistência de mudas de cajueiros à salinidade.

Para a interação entre as doses de alumínio e os genótipos de cajueiro, apenas os genótipos CCP 09 e CCP 76 obtiveram ajuste significativo para a relação entre doses de alumínio e a massa da matéria seca de caule (MMSC) (Figura 17). Semelhante ao diâmetro das plantas, o modelo ajustado foi quadrático negativo, a 5% de probabilidade. Os valores de coeficiente de determinação não são tão altos, para os dois genótipos, sugere que mais de 20% da variação da massa da matéria seca de caule é aleatória. Assim como o diâmetro, para a MMSC não há uma explicação para essa causa.

A produção de massa da matéria seca de raízes fina cresceu linearmente com o aumento das doses de alumínio (Figura 18). Esse aumento pode ser o resultado do engrossamento das raízes em resposta ao estresse causado pelo alumínio. O aumento da massa da matéria seca de raízes fina é seguido de uma diminuição da produção de matéria seca de raízes grossas, mesmo que essa última não tenha apresentado resposta significativa com o aumento das doses de alumínio.

Tabela 7. Produção de massa da matéria seca de caule, folhas, da parte aérea, de raiz grossa, fina e total de raízes e do total de matéria seca de oito genótipos de cajueiro, após 80 dias de aplicação do alumínio.

Genótipos	Massa seca						
	Caule	Folhas	Parte aérea	Raiz Grossa	Raiz Fina	Raiz Total	Total
	----- g planta ⁻¹ -----						
‘CCP 06’	5,62 c	3,63 a	9,25 a	1,16 a	0,44 b	1,60 a	10,85 a
‘CCP 09’	5,79 c	4,03 b	9,83 b	1,11 a	0,45 b	1,56 a	11,38 a
‘CCP 76’	5,84 c	4,40 c	10,24 c	1,16 a	0,51 c	1,67 a	11,91 b
‘CCP 1001’	6,11 d	4,27 c	10,38 c	1,27 a	0,55 c	1,83 b	12,21 b
‘Embrapa 51’	5,27 b	4,55 c	9,82 b	1,24 a	0,39 a	1,63 a	11,45 a
‘BRS 189’	6,36 d	4,39 c	10,75 c	1,38 b	0,53 c	1,91 b	12,67 b
‘BRS 265’	5,20 b	4,41 c	9,61 b	1,21 a	0,38 a	1,58 a	11,19 a
‘BRS 275’	4,71 a	4,24 c	8,95 a	1,42 b	0,47 b	1,88 b	10,83 a
Doses de Al							
0	5,65	4,34	10,00	1,31	0,40	1,71	11,71
10	5,68	4,33	10,02	1,25	0,44	1,69	11,71
20	5,56	4,26	9,82	1,20	0,49	1,69	11,51
30	5,53	4,33	9,86	1,18	0,48	1,66	11,53
40	5,65	3,92	9,57	1,27	0,51	1,78	11,35
Teste F							
	Massa seca						
FV	Caule	Folhas	Parte aérea	Raiz Grossa	Raiz Fina	Raiz Total	Total
Doses de Al (D)	0,231 ^{ns}	1,750 ^{ns}	0,521 ^{ns}	2,011 ^{ns}	6,937 ^{**}	1,281 ^{ns}	0,342 ^{ns}
Genótipos (G)	12,517 ^{**}	4,932 ^{**}	5,780 ^{**}	6,339 ^{**}	7,090 ^{**}	7,693 ^{**}	5,440 ^{**}
D x G	1,838 [*]	1,350 ^{ns}	1,387 ^{ns}	1,120 ^{ns}	1,533 ^{ns}	1,440 ^{ns}	1,373 ^{ns}
CV % Doses de Al	17,07	22,75	17,55	20,9	24,1	15,62	15,79
CV % Genótipos	14,67	16,92	13,76	19,23	27,78	16,66	13,24

¹ Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si por meio de teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

² ^{ns}, * e **: Não significativo e significativo a 5% e a 1% de probabilidade respectivamente.

Os resultados divergem dos encontrados por Kumar (1981), Silva (1995) e Parente (2000) que observaram redução na produção de matéria seca do cajueiro com o aumento das doses de alumínio. Kumar (1981) e Parente (2000), apenas para o genótipo Embrapa 51, observaram aumento na massa seca da parte aérea nas primeiras doses (10 mg L⁻¹ e 0,5 e 1,0 cmol_c dm⁻³ respectivamente); já Silva (1995) relatou efeito linear negativo. Em trabalhos com videira (BURKHARDT et al., 2009), pinhão-manso (STEINER et al., 2012), mamoneira (LIMA et al., 2007), soja (NOLLA et al., 2007), houve redução da matéria seca da parte aérea com o aumento das doses de alumínio.

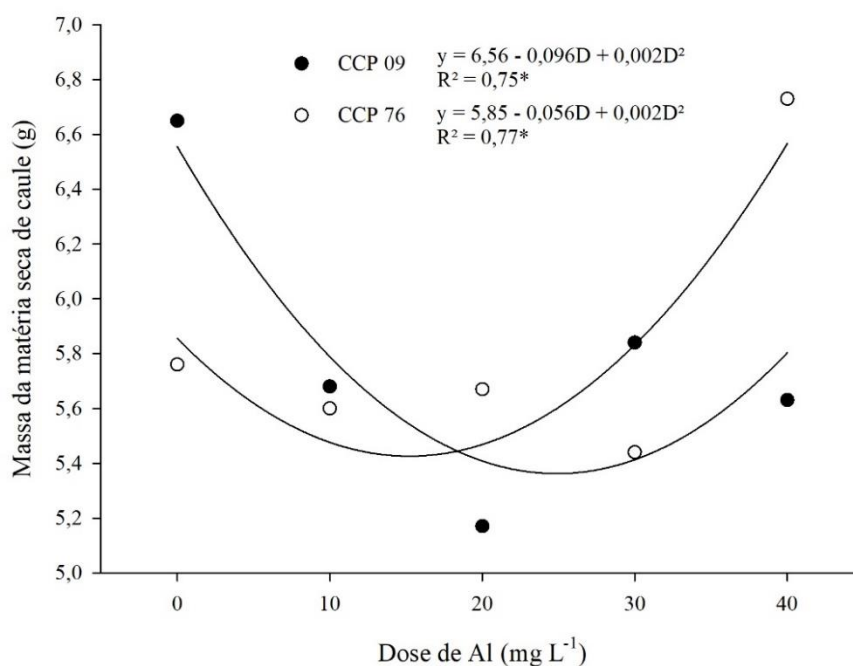


Figura 17. Massa da matéria seca de caule de genótipos de cajueiro em função de doses de alumínio.

** Significativo a 5% de probabilidade.

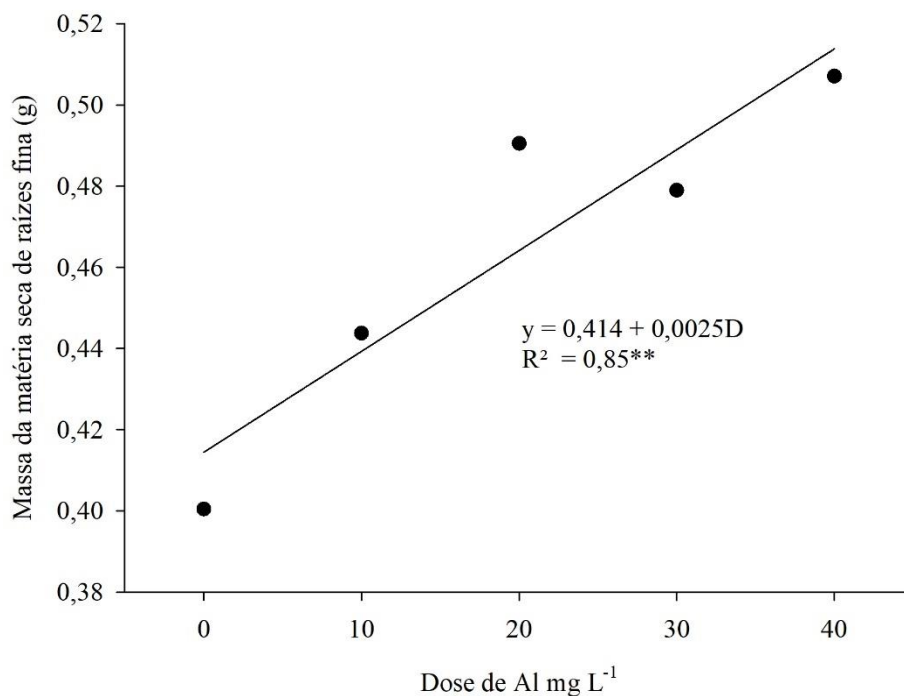


Figura 18. Média da produção de massa da matéria seca de raízes fina de genótipos de cajueiro em função de doses de alumínio.

** Significativo a 5% de probabilidade.

Quanto para as variáveis morfológicas das raízes volume, área e diâmetro houve efeito significativo das doses de alumínio, diferença entre os genótipos e interação entre os fatores (Tabela 8). Para as variáveis área e diâmetro de raízes não houve ajuste significativos de modelos de regressão em relação as doses de alumínio.

Tabela 8. Características morfológicas de oito genótipos de cajueiro, após 80 dias de aplicação do alumínio.

FV		Volume mm ³	Área mm ²	Diâmetro m
Genótipos	‘CCP 06’	1851,96 a	5494,70 a	0,392 a
	‘CCP 09’	2121,41 a	6039,33 a	0,419 a
	‘CCP 76’	2671,19 b	6946,91 b	0,468 b
	‘CCP 1001’	2514,54 b	6220,03 a	0,455 b
	‘Embrapa 51’	2762,04 b	6588,90 b	0,501 c
	‘BRS 189’	3819,50 c	8420,39 c	0,488 c
	‘BRS 265’	2559,73 b	6401,33 b	0,517 c
	‘BRS 275’	2025,28 a	5929,53 a	0,503 c
Doses de Al	0	2799,35	6754,44	0,46
	10	2453,97	6527,57	0,48
	20	2881,66	6762,88	0,50
	30	2096,53	5884,98	0,43
	40	2472,02	6595,82	0,46
Teste F				
FV		Volume	Área	Diâmetro
Doses de Al (D)		10,202 **	4,087 *	4,148 *
Genótipos (G)		22,781 **	16,012 **	10,923 **
D x G		7,856 **	2,820 **	3,568 **
CV % Doses de Al		26,75	19,03	17,44
CV % Genótipos		27,62	18,71	15,53

¹ Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si por meio de teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

² ns, * e **: Não significativo e significativo a 5% e a 1% de probabilidade respectivamente.

Modelo quadrático relacionando o volume de raízes e as doses de alumínio foram ajustados para os genótipos BRS 189, CCP 09 e Embrapa 51, e linear para o genótipo CCP 1001 e para a média dos genótipos (Figura 19) (Tabela 9).

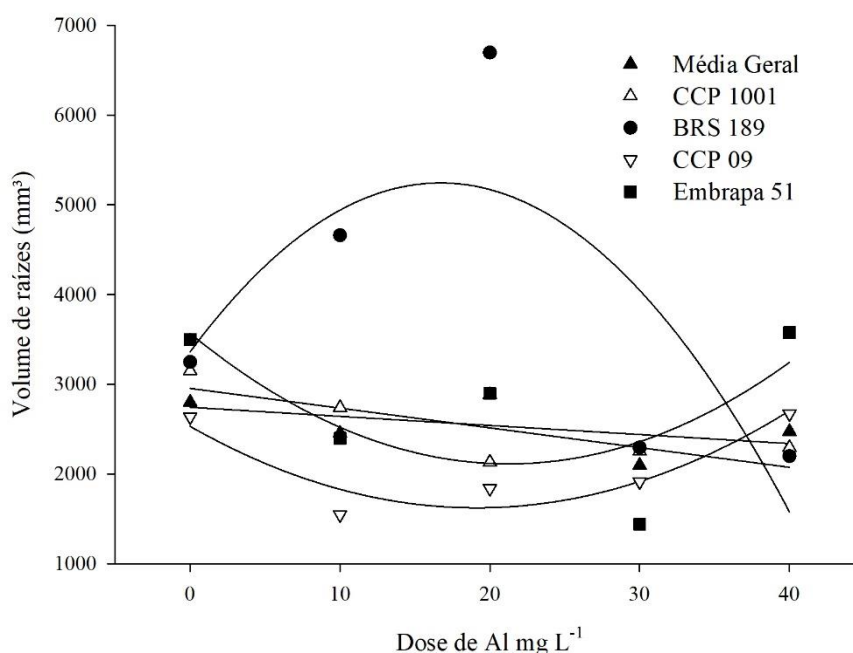


Figura 19. Volume de raízes de genótipos de cajueiro em função de doses de alumínio.
Tabela 9. Equação de regressão para o volume de raízes em função das doses de alumínio.

Genótipos	Volume (mm ³)	
	Equações	R ²
'BRS 189'	$y = 3360,486 + 225,679D - 6,757D^2$	0,59**
'CCP 09'	$y = 2531,236 - 95,007D + 2,484D^2$	0,86**
'CCP 1001'	$y = 2953,983 - 21,972D$	0,67 *
'Embrapa 51'	$y = 3567,280 - 136,883D + 3,221D^2$	0,49**
Média	$y = 2743,125 - 10,121D$	0,26**

* e **: Significativo a 5% e a 1% de probabilidade respectivamente.

Para a média, e para os genótipos BRS 189 e CCP 1001, o volume de raízes decresceu com o aumento das doses de alumínio, sendo o genótipo CCP 1001 mais sensível, sentindo os efeitos do alumínio já na primeira dose. O genótipo BRS 189 responde positivamente, com um aumento no volume de raízes, nas primeiras doses, até um ponto de máxima de 16,7 mg L⁻¹ de alumínio; em seguida há um decréscimo. Em geral, esse decréscimo no volume de raízes é reflexo da inibição do crescimento de raízes, causado pelo alumínio. O mesmo é aplicado para o genótipo BRS 189.

Como já comentado anteriormente, pequenas doses de alumínio estimulam o crescimento de raízes, o que explica esse maior volume nas primeiras doses. Já para os genótipos CCP 09 e Embrapa 51 o efeito do alumínio é completamente o inverso do que ocorre para o genótipo BRS 189, não havendo uma explicação clara para esse efeito. As

mesmas causas podem ser aplicadas para a variação da área superficial das raízes, havendo duas tendências opostas para o efeito do alumínio (Figura 20).

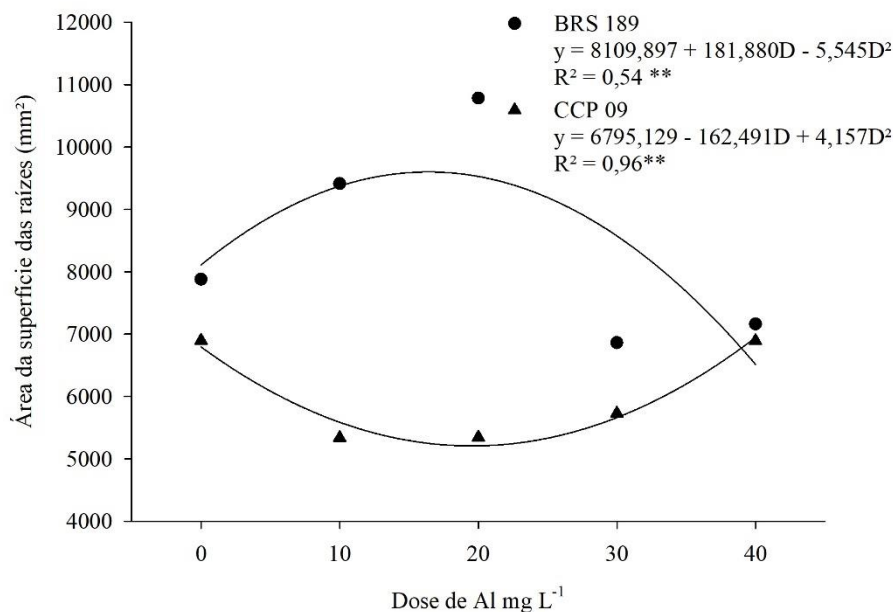


Figura 20. Área superficial de raízes de dois genótipos de cajueiro em função de doses de alumínio.

** Significativo a 5% de probabilidade.

O diâmetro médio das raízes, em geral, para os genótipos que tiveram modelos ajustados significativamente, diminuiu em função das doses de alumínio, exceto para o genótipo CCP 09, que teve um ajuste quadrático negativo (Figura 21) (Tabela 10).

Um dos efeitos de elevadas concentrações alumínio é o engrossamento de raízes, ou seja, o aumento do diâmetro. No entanto, o diâmetro médio diminuiu em função da diminuição do volume de raízes, uma vez que o cálculo do diâmetro médio de raízes obtido pelo programa Safira é uma média ponderada da razão entre o volume e a área de raízes.

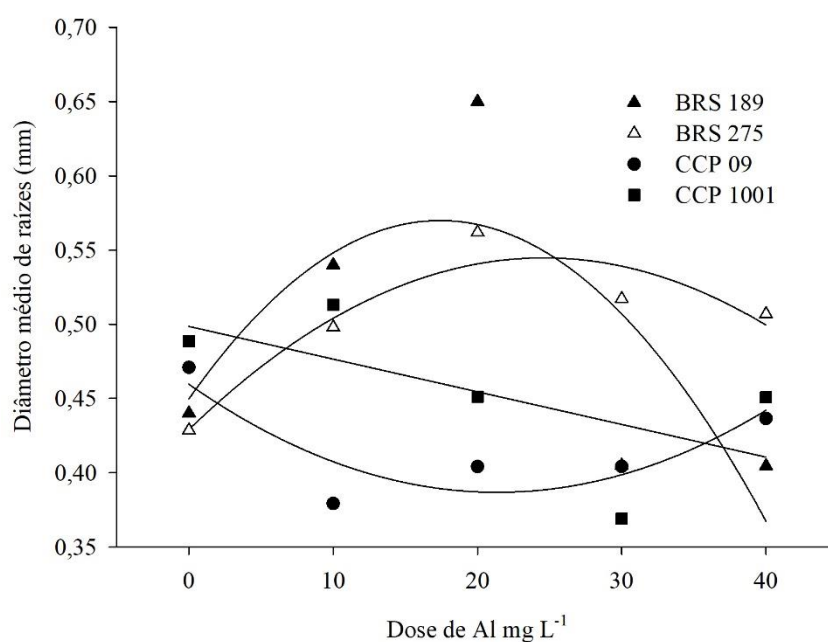


Figura 21. Diâmetro médio de raízes de genótipos de cajueiro em função de doses de alumínio.

Tabela 10. Equação de regressão para o diâmetro médio de raízes em função das doses de alumínio.

Genótipos	Diâmetro	
	Equações	R ²
'BRS 189'	$y = 0,453 + 0,013D - 0,0004D^2$	0,59**
'CCP 09'	$y = 0,460 - 0,007D - 0,0002D^2$	0,75 *
'CCP 1001'	$y = 0,499 - 0,0022D$	0,41 *
'BRS 275'	$y = 0,429 + 0,009D - 0,0002D^2$	0,89 **

* e **: Significativo a 5% e a 1% de probabilidade respectivamente.

Com exceção de Kumar (1981), que desenvolveu seu trabalho em solução nutritiva e areia lavada, os trabalhos de Silva (1995) e Parente (2000) foram realizados em solo, o que pode explicar a diminuição da matéria seca com o aumento das doses de alumínio, devido a interação do Al^{3+} com os demais nutrientes presentes no solo. Silva (1995) relata que a diminuição da massa seca da parte aérea em seu estudo pode estar relacionada com a diminuição da disponibilidade de P, em virtude da interação ocorrida com o Al^{3+} , que é comprovado pela diminuição do teor de P na parte aérea. Parente (2000) conclui que a absorção de P, K, Ca e Mg foi significativamente reduzida pela presença de Al^{3+} no solo. Pereira et al. (2003) verificaram diminuição na matéria seca da parte aérea de citros a partir da dose de $23 \mu mol L^{-1}$; Já STOLF et al. (2008) observaram que em macieira a presença do alumínio inibiu o crescimento da parte aérea e de raízes.

Vários são os trabalhos que relatam a interação do Al com os nutrientes reduzindo a absorção, tanto em solo quanto em solução nutritiva. Salvador et al. (2000) relatam a diminuição na absorção de P, Ca, Mg, S, Fe e Mn em mudas de goiabeira e, que no caso do Ca e do Mg isso decorre da inibição interiônica com cátions de Al; Silva et al. (2013) constataram que a absorção de Ca e Mg por cultivares de aveia são afetadas pela adição de Al na solução hidropônica; o mesmo acontece para o arroz (FREITAS et al., 2006).

Com bases nos resultados pode se afirmar que os clones mais sensíveis aos efeitos do alumínio foram o CCP 1001, o BRS 265 e o Embrapa 51, sentido os efeitos do alumínio já na primeira dose, de modo geral. Já os genótipos BRS 189 e BRS 275 são sensíveis ao alumínio a partir de doses acima de 20 mg L⁻¹. Os demais genótipos, CCP 06, CCP 09 e CCP 76, são inconclusivos devido a insignificância da maioria das variáveis em função das doses de alumínio, não podendo afirmar se esses genótipos são tolerantes ou sensíveis as doses de alumínio. Percebe-se uma alta variabilidade do efeito do alumínio sobre as características morfológicas e biométrica do cajueiro, até mesmo respostas opostas de diferentes genótipos para uma mesma variável.

Como mencionado na metodologia, neste trabalho foi tomado o cuidado de isolar o efeito do alumínio, de modo que não houvesse interação com os nutrientes, seguindo as recomendações de Villagarcia et al. (2011), cujos resultados fossem somente devidos ao alumínio, e não dos efeitos secundários, como a acidez e suas interações.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados pode-se concluir que:

- A faixa de saturação por bases de 50% a 60% é aquela em que as plantas de cajueiro obtiveram melhor resposta a calagem.
- Os genótipos de cajueiro BRS 265, Embrapa 51 e CCP 1001 são os mais sensíveis ao alumínio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, E. V. D. Aplicação de calcário e seus efeitos no sistema radicular, estado nutricional, produção e qualidade tecnológica de frutos de mangueiras. (2008) **Tese (Doutorado)** - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira, 2008.

AQUINO, A.R.L. de.; ROSSETTI, A.G.; OLIVEIRA, F.N.S.; MORAES, D.P. **Resposta do cajueiro anão precoce à correção e adubação em solos de cerrados do sul do Piauí. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1997. 3p. (EMBRAPA-CNPAT. Pesquisa em Andamento, 21).**

AQUINO, B. F.; HERNANDEZ, F. F. F.; HOLANDA, F. J. M.; FREIRE, J. M.; CRISÓSTOMO, L. A.; COSTA, R. I.; UCHÔA, S. C. P.; FERNANDES, V. L. B. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará.** 1.ed. Fortaleza: UFC, 1993. 247p.

ARTUR, A.G.; CRUZ, M.C.P.; FERREIRA, M.E.; BARRETTO, V.C.M.; YAGI, R. Esterco bovino e calagem para formação de mudas de guanandi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.6, p.843-850, 2007.

ANJOS, J. L.; SOBRAL, L. F.; Lima JUNIOR, M. A. Efeito da calagem em atributos químicos do solo e na produção da laranjeira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 11, p. 1138-1142, 2011.

ARAÚJO, F.S. **Recomendações de fertilizantes para o Estado do Maranhão.** São Luís: EMATER- MA, 1979.

ARAÚJO, S.R.; DEMATTÊ, JAM.; GARBUIO, F.J. Aplicação de calcário com diferentes graus de reatividade: alterações químicas no solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.6, p. 1755-1764, 2009.

AYRES, M. I. C.; ALFAIA, S. S. Calagem e adubação potássica na produção do cupuaçuzeiro em sistemas agroflorestais da Amazônia Ocidental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p. 957-963, 2007.

BEZERRA, A. L. L.; LIMA, I. M. A.; NASCIMENTO, B. L. M.; AQUINO, B. F.
Influência da calagem na adsorção de fósforo em diferentes solos do estado do Ceará.
Agropecuária Científica no Semiárido, v.9, p.1-5, 2013.

BRASIL. Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980.

BURKHARDT, S. L.; VILLA, F.; SILVA, A. L. D.; PASQUAL, M. Avaliação de dois
porta-enxertos de videira in vitro introduzidos em meio de cultivo contendo alumínio.
Ciência e Técnica Vitivinícola, v. 24, n. 2, p. 57-64, 2009.

CALONEGO, J. C.; MORA, V. S.; SANTOS, C. H.; OLIVEIRA, L. D. CALAGEM E
SILICATAGEM EM SOLO INCUBADO COM DIFERENTES UMIDADES.
Colloquium Agrariae, v. 8, n. 2, p. 46-56, 2013.

CAMPANHARO, M.; LIRA Jr, M. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, F. J.;
COSTA, J. V. T. Avaliação de métodos de necessidade de calagem no Brasil. **Revista
Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 1, p.97-105, 2007.

CARNEIRO, P. T.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L.; VIANA,
S. B. A. Salt tolerance of precocious drawf cashew rootstocks - physiological and
growth indexes. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 1, p. 9-16, 2004.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; MENEGALE, M. L. C. Calagem e
silicatagem superficiais e a disponibilidade de cátions hidrossolúveis em culturas anuais
e braquiária. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, n. 4, p. 740-748, 2012.

CATE, R.B.J. & NELSON, L.A. A simple statistical procedure for partitioning soil test
correlation data into two classes. **Soil Science Society of America Journal**, 35:658-
660, 1971.

CATANI, R. A.; GALLO, J. R. Avaliação da exigência em calcário dos solos do Estado
de São Paulo mediante correlação entre o pH e a porcentagem de saturação em bases.
Revista de Agricultura, Piracicaba, v. 30, p. 49-60, 1955.

CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S. D.; SERENO, M. J. C. D. M.; BARBOSA NETO, J. F.
TOLERÂNCIA AO ALUMÍNIO EM PLANTAS: TOXICIDADE, MECANISMOS E

GENES EM ESPÉCIES CULTIVADAS. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 14, n. 3-4, p. 01-10, 2008.

CORREIA, M. A. R. (2009). EFEITOS DA CALAGEM NA FERTILIDADE DO SOLO, NUTRIÇÃO, CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DA MANGUEIRA. (2009) **Dissertação (Mestrado)** - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal. Jaboticabal, 2009.

COSTA, K. A. P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I. P.; RODRIGUES, C.; SEVERIANO, E. C. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu: I - alterações nas características químicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.4, p. 1591-1599, 2008.

COSTA, C. H. M. D.; CRUSCIOL, C. A. C.; FERRARI NETO, J.; CASTRO, G. S. A. Residual effects of superficial liming on tropical soil under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1633-1642, 2016.

CRISÓSTOMO, L. A.; PIMENTEL, C. R. M.; MIRANDA, F. R.; OLIVEIRA, V. H. Cajueiro-Anão Precoce. In: CRISÓSTOMO, L. A.; NAUMOV, A. **Adubando para alta produtividade e qualidade: fruteiras tropicais do Brasil**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria tropical; 2009, 238 p.

CRISÓSTOMO, L. A. Clima, solo, nutrição mineral e adubação para o cajueiro-anão-precoce. In: ARAÚJO, J. P. P (Ed.). **Agronegócio caju: práticas e inovações**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. parte 2, cap. 1, p. 43-59. il.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Informação Tecnológica. 2ª edição revista e ampliada. 2009.

FAOSTAT: Production Crops 2013. Disponível em:

<<http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>>. Acesso em: 11 jan. 2017.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A. Dinâmica da calagem superficial em um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.235-247, 2005.

FIGUEIREDO, R. W.; LAJOLO, F. M.; ALVES, R. E.; FILGUEIRAS, H. A. C.; MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M. Qualidade de pedúnculos de caju submetidos à

aplicação pós-colheita de cálcio e armazenados sob refrigeração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 475-482, Apr. 2007.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; POTTING, J.; SERRANO, L. A. L.; BEZERRA, M. A.; BARROS, V. S.; GONDIM, R. S.; NEMECEK, T. Environmental assessment of tropical perennial crops: the case of the Brazilian cashew. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 131-140, 2016.

FREITAS, F. A.; KOPP, M. M.; SOUSA, R. O.; ZIMMER, P. D.; CARVALHO, F. I. F. E OLIVEIRA, A. C. Absorção de P, Mg, Ca e K e tolerância de genótipos de arroz submetidos a estresse por alumínio em sistemas hidropônicos. **Revista Ciência Rural**, 36, 1/6: 72-79. (2006).

FREITAS, L. B.; FERNANDES, D. M.; MAIA, S. C. M. Silício na nutrição mineral e acúmulo de alumínio em plantas de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 4, p. 440-448, 2016.

GUSTAFSSON, J. P. **Visual MINTEQ version 3.1**. Stockholm, Sweden, February 2013.

HERNANDES, A.; NATALE, W.; PRADO, R. de. M.; ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M.; SOUZA, H. A. Calagem no crescimento e desenvolvimento da caramboleira. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.5, p.170-176, 2010.

HERVÉ; C. B.; CALAI, F. A.; NAVA, I. C.; DELATORRE, C. A. Tolerância ao alumínio tóxico em germoplasma brasileiro elite de aveia. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 8, p. 1364-1370, ago. 2013.

INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Levantamento Sistemático da produção Agrícola. Disponível em:

<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp>>. Acesso em: 11 jan. 2017

JANKE, A.; DALL'AGNOL, M.; SANTOS, A. M.; BISSANI, C. A. Seleção de populações de *Lotus corniculatus* L. com maior tolerância ao alumínio em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 11, p. 2366-2370, 2010.

JOHNSON, D. The botany, origin, and spread of the cashew *Anacardium occidentale* L. **Journal of Plantation Crops**, v. 1, n. 1-2, p. 1-7, 1973.

JORGE, L.A.C. & OLIVEIRA RODRIGUES, A.F. **Safira: Sistema de análise de fibras e raízes**. São Carlos, Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008. 20p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 24).

KAMPRATH, E. J. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 34, n. 2, p. 252-254, 1970.

KUMAR, P.H. Effect of aluminium on the growth of cashew seedlings (*Anacardium occidentale* L.) in sand culture. **Indian Cashew Journal**, v.14, p.9-11, 1981.

KUMAR, P. H.; RAKIAPPAN, P.; NAIR, P. B.; MOHAN, E.; NAGABHUSHANAM, S. Effect of season, position and age of leaf on the major nutrient composition of cashew. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 108, p. 293-294, 1985.

LANA, M. C.; STEINER, F.; FEY, R.; FRANDOLOSO, J. F.; ZOZ, T. Tolerância de plântulas de pinhão manso a toxicidade de alumínio em solução nutritiva. I: Desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular. **Synergismus Scientifica UTFPR**, Pato Branco, v. 4, n. 1, p. 1-3, 2009.

LIMA, R. L. S.; FERNANDES, V. L. B.; OLIVEIRA, V. H.; HERNANDEZ, F. F. F. CRESCIMENTO DE MUDAS DE CAJUEIRO-ANÃO-PRECOCE 'CCP 76' SUBMETIDAS À ADUBAÇÃO ORGÂNICA E MINERAL. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 391-395, Aug. 2001.

LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; SILVA, M. I. L.; ALBUQUERQUE, R. C.; BELTRÃO, N. E. M. Crescimento da mamoneira em solo com alto teor de alumínio na presença e ausência de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v.11, n.1, p.15-21. jan./abr. 2007.

LOPES, K. T. L.; BARRETO, H. F. M.; SOUZA, C. M. S.; BRITO, L. S. S.; ALMEIDA, J. H. J.; JESUS, P. P. C.; LIMA, P. O. Ambiente ruminal de ovinos alimentados com bagaço de caju desidratado em substituição a silagem de sorgo. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 9, n. 4, p. 335-341, 2016.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. Piracicaba, Ceres, 2006. 638p.

MATTIELLO, E. M.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E.; MAURI, J.; MATIELLO, J. D.; MEIRELES, P. G.; SILVA, I. R. Produção de matéria seca, crescimento radicular e absorção de cálcio, fósforo e alumínio por *Coffea canephora* e *Coffea arabica* sob influência da atividade do alumínio em solução. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 425-434, 2008.

MIGUEL, P. S., GOMES, F. T., ROCHA, W. S. D., MARTINS, C. E., CARVALHO, C. A. D., & OIIVEIRA, A. V. D. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**, v. 24, p.13-29, 2010.

MOREIRA, R. C.; MELO, J. G.; C., J. E.; LIMA, J. S. EFEITO DA CALAGEM NA INCIDÊNCIA DA RESINOSE EM CLONES DE CAJUEIRO. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA**, 2010, NATAL-RN.

NATALE, W.; PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; ROMUALDO, D. E. Efeitos da calagem na fertilidade do solo na nutrição e produtividade da goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1475-1485, 2007.

NATALE, W.; PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M.; SOUZA, H. A.; HERNANDES, A. Resposta da caramboleira à calagem. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 1136-1145, 2008.

NATALE, W.; ROZANE, D. E.; PARENT, L. E.; PARENT, S.-E. Acidez do solo e calagem em pomares de frutíferas tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 4, p. 1294-1306, 2012.

NEVES, O. S. C.; CARVALHO, J. G.; FERREIRA, E. V.; ASSIS, R. P. Nutrição mineral, crescimento e níveis críticos foliares de cálcio e magnésio em mudas de umbuzeiro, em função da calagem. **Revista Ceres**, v. 55, n. 6, p. 575-583, 2008.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Métodos utilizados para a correção da acidez do solo no Brasil. **Revista de Ciências Exatas e Naturais**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 97-111, jan-jun, 2004

NOLLA, A.; SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Crescimento, morfologia radicular e liberação de compostos orgânicos por plântulas de soja em função da atividade de alumínio na solução do solo de campo natural. **Ciência Rural**, v. 37, n. 1, p. 97-101, 2007.

NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. 1017 p.

OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAUJO, J. D.; LOURENÇO, S. (Coords.) (1991), Métodos de pesquisa de Fertilidade do Solo. Brasília: EMBRAPA/SEA. 392 p.

OLIVEIRA, I. P.; COSTA, K. A. P.; SANTOS, K. J. G.; MOREIRA, F. P. CONSIDERAÇÕES SOBRE A ACIDEZ DOS SOLOS DE CERRADO. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, Goiás, v.1, n.1, p. 01-12, ago. 2005.

OLIVEIRA, V. H.; TANIGUCHI, C. A. K.; CRISOSTOMO, L. A. Nutrição mineral do cajueiro. 2. ed. rev. ampl. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2013. 40 p. il. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 14).

PARENTE, C. O. Tolerância de Cajueiro ao alumínio no Solo. Fortaleza: UFC, 2000. 44 f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2000.

PAULETTI, V.; PIERRI, L.; RANZAN, T.; BARTH, G.; MOTTA, A. C. V. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 495-505, Apr. 2014.

PEREIRA, W.E.; SIQUEIRA, D.L.; PUIATTI, M. Growth of citrus rootstocks under aluminium stress in hydroponics. **Scientia Agricola**, v.60, p.31-41, 2003.

PEREIRA, T. D. A.; SILVA, S. S. D.; ANDRADE, E. M. G.; COSTA, J. P. M.; SOARES, P. C. E.; OLIVEIRA, F. S. D.; MARACAJÁ, P. Produção de mudas de

mamoeiro em diferentes substratos. **Agropecuária Científica No Semiárido**, v. 11, n. 2, p. 86-98, 2015.

PIERANGELI, M. A. P.; EGUCHI, E. S.; RUPPIN, R. F.; COSTA, R. B. F.; VIEIRA, D. F. Teores de As, Pb, Cd e Hg e fertilidade de solos da região do Vale do Alto Guaporé, sudoeste do estado de Mato Grosso. **Acta Amaz.** v.39, n.1, p. 61-69, 2009.

PONTE, L.F.A.; FERREIRA, O.S.; ALVES, F.A.L.; FERREIRA-SILVA, S.L.; PEREIRA, V.L.A.; SILVEIRA, J.A.G. Variabilidade de indicadores fisiológicos de resistência à salinidade entre genótipos de cajueiro-anão e gigante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1-8, 2011.

RAIJ, B.V. **Avaliação da fertilidade do solo**. Instituto da Potassa & Fosfato, 1981.142 p.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2011. 420 p.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RAMOS, A.D.; LOPES, A.S.; FREIRE, J.M.; CRISÓSTOMO, L.A.; OLIVEIRA, F.N.S.; AQUINO, A.R.L. de. **Recomendações para correção do solo e adubação do cajueiro**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, 1993. 14p. (EMBRAPA-CNPAT. Documentos, 10).

RAMPIM, L.; LANA, M. D. C. MECANISMO DE TOLERÂNCIA INTERNA DAS PLANTAS AO ALUMÍNIO. **Colloquium Agrariae**, v. 9, n. 2, 2013.

RIBEIRO, A.C.; GUIMRÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (eds). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 359p.

RIBEIRO, J. L.; VAL, A. D. B.; ARAÚJO NETO, P. R. **Implantação e manejo da cultura do cajueiro-anão-precoce na região Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte; 2009. 38 p.

RIQUELME, U. F. B.; AMADO, T. J. C.; DALLA NORA, D.; BORTOLOTTI, R. P.; KELLER, C. Calibração visando à adubação potássica para as culturas da soja, trigo e milho sob sistema plantio direto no Paraguai. **AMBIÊNCIA**, v. 9, n. 3, p. 505-518, 2013.

ROZANE, D. E.; NATALE, W. Liming, fertilizer and mineral nutrition of *Annonaceae*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, n. spe1, p. 166-175, 2014.

SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C. P. Influência do alumínio no crescimento e na acumulação de nutrientes em mudas de goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 787-796, 2000.

SCHLINDWEIN, J. A. Calibração de métodos de determinação e estimativa de doses de fósforo e potássio em solos sob sistema plantio direto. UFRGS, 2003. 169f. **Tese de Doutorado** (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

SERRANO, L. A. L.; MELO, D. S.; TANIGUCHI, C. A. K.; VIDAL NETO, F. C.; CAVALCANTE JÚNIOR, L. F. Porta-enxertos para a produção de mudas de cajueiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 9, p. 1237-1245, Sept. 2013.

SILVA, M. R. M. Comportamento de mudas de cajueiro cultivadas em diferentes níveis de alumínio no solo. Fortaleza, 1995. 75f. : **Dissertação (Mestrado)**- Universidade Federal do Ceara. Departamento de Solos. 1995

SILVA, M. A. C.; NATALE, W.; PRADO, R. M.; CORRÊA, M. C. M.; STUCHI, E. S.; ANDRIOLI, I. Aplicação superficial de calcário em pomar de laranjeira pêra em produção. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 3, p. 606-612, 2007a.

SILVA, A. R. M.; TUCCI, C. A. F.; LIMA, H. N.; FIGUEIREDO, A. F. Doses crescentes de corretivo na formação de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Acta Amazônica**, v. 37, n. 2, p. 195-200, 2007b.

SILVA, A. V. C., MUNIZ, E. N., LEDO, A. S., RABBANI, A. R. C., & AMORIM, J. A. E. Diversidade genética em germoplasma de *Anacardium occidentale*. **Scientia Plena**, Aracaju, v. 10, n. 11, 2014 a.

SILVA, J. L.; SALES, A. R. R.; LIMA, A. F.; SANTANA, A. G.; OLIVEIRA, C. P. AVALIAÇÃO SENSORIAL DA FIBRA DO PEDÚNCULO DO CAJÚ (*Anacardium occidentale* L.) EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES COMO RECHEIO EM PASTEIS. **Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 4, n. 1, 2015.

SILVA, J.T.A.; SILVA, I.P.; MOURA NETO, A.; COSTA, E.L. Aplicação de potássio, magnésio e calcário em mudas de bananeira 'Prata-anã' (AAB). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.30, p.782-786, 2008.

SILVA, J. A. G.; REIS, C. E. S.; CRESTANI, M.; SOUSA, R. O.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, F. I. F. Absorção de cálcio e magnésio por cultivares de aveia submetidas a níveis de toxidez por alumínio. **Semina: Ciências Agrárias**. p. 3563-3575, 2013.

SILVA, S. V.; SANTOS, J. Z. L.; TUCCI, C. A. F.; CARDOSO, A. A. C. Efeito de doses de calcário e cultivares na produtividade e qualidade agroindustrial da cana-de-açúcar em solo da Amazônia. **REVISTA AGRO@ MBIENTE ON-LINE**, v. 8, n. 3, p. 298-305, 2014b.

SIMON, L.; SMALLEY, T.J.; JONES, J.B.; LASSEIGNE, F.T. Aluminum toxicity in tomato. Part 1. Growth and mineral nutrition. **Journal of Plant Nutrition**, v.17, p.293-306, 1994.

SOARES, F. A. L.; GHEYI, H. R.; OLIVEIRA, F. H. T.; FERNANDES, P. D.; ALVES, A. N.; SILVA, F. V. Acúmulo, exportação e restituição de nutrientes pelas bananeiras “Prata Anã” e “Grand Naine”. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.7, p. 2054-2058, out, 2008.

SOUSA, L. F. R. A; MARINHO, R. W. D.; NUNES, F. M., COSTA, N. B., NASCIMENTO, I. O; SILVA, W. A. INCUBAÇÃO DE ARGISSOLO VERMELHO AMARELO distrófico COM APLICAÇÃO DE DOSES CRESCENTES DE CaCO₃ PARA NEUTRALIZAÇÃO DA ACIDEZ TROCÁVEL. **Revista Agroecossistemas**, v. 6, n. 1, p. 66-73, 2014.

SOUZA, H. A.; NATALE, W.; PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M.; HERNANDES, A. Efeito da calagem sobre o crescimento de goiabeiras. **Revista Ceres**, Lavras, v. 56, n. 3, p. 336-341, 2009.

STEINER, F.; ZOZ, T.; PINTO JUNIOR, A. S.; CASTAGNARA, D. D.; DRANSKI, J. A. L. Effects of aluminum on plant growth and nutrient uptake in young physic nut plants. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 5, p. 1779-1788, 2012.

STOLF, E.C.; DANTAS, A.C.M.; BONETI, J.I.; COMIN, J.J.; NODARI, R.O. Estabelecimento de critérios para selecionar porta-enxertos de macieira tolerantes ao alumínio em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.30, p.476-471, 2008.

TEIXEIRA, P. C.; MACEDO, S. T. Calagem e fósforo para a formação de mudas de biribazeiro. **Revista de Ciências Agrárias, Manaus**, v. 54, n. 3, p. 259-266, 2011.

VALE, E. H.; HAWERROTH, M. C.; CAVALCANTI, J. J.V.; VIDAL NETO, F. C.; MELO, D. S. Desempenho de híbridos de cajueiro-anão-precoce no litoral do estado do Ceará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, n. 4, p. 940-949, dez. 2014.

VIEIRA, R. C. B.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ANGHINONI, I. ERNANI, P. R.; MORAES, R. P. Critérios de calagem e teores críticos de fósforo e potássio em Latossolos sob plantio direto no centro-sul do Paraná. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 188-198, 2013.

VIEIRA, C. R.; WEBER, O. L. S.; SCARAMUZZA, J. F. EFEITOS DA SATURAÇÃO POR BASES NO CRESCIMENTO E NA NUTRIÇÃO DE MUDAS DE JATOBÁ. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 1, p. p. 07-17, 2015.

VILLAGARCIA, M.R.; CARTER JR, T.E.; RUFTY, T.W.; NIEWOEHNER, A.S.; JENNETTE, M.W.; ARRELLANO, C. Genotypic rankings for aluminum tolerance of soybean roots grown in hydroponics and sand culture. **Crop Science**, v.41, p.1499-1507, 2001.

XIMENES, C. H. M. Adubação mineral de mudas de cajueiro anão-precoce cultivadas em diferentes substratos. 1995. 102f. **Dissertação (Mestrado)** - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1995.

APÊNDICE

Unidade de mapeamento: PAd

Esta unidade de mapeamento simples é compreende a classe de ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico que ocorre no canto sudoeste do imóvel, ocupa uma área de 11,75 hectares e caracterizado por meio do perfil 03.

Síntese da descrição morfológica do perfil 03.

Horz.	Prof. (cm)	Cor (Munsell) - Úmida	Transição entre horizontes	Estrutura	Classe textural
A1	0 – 12	10YR 3/2	Plana/gradual	Grãos simples	Arenosa
A2	12 – 35	10YR3/3	Plana/clara	Fraca/blocos subangulares	Arenosa
BA	35 – 60	Matriz (10YR 4/3), mosqueado pouco (5YR 5/6)	Plana/clara	Fraca/blocos angulares	Média
Bt1	60 - 95	Matriz (10YR 4/3), mosqueado comum (5YR 5/6)	Plana/clara	Moderada/média/blocos subangulares	Média
Bt2	95 - 120	Matriz (10YR 5/4), mosqueado comum (5YR 5/6) e proeminente (10R 4/8)	-	Moderada/média/blocos subangulares	Média

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DO SOLO: PERFIL 03

CLASSIFICAÇÃO: ARGISSOLO AMARELO Distrófico abruptico

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO E ESTADO: Fazenda Raposa – Maracanaú – Ceará.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL: Trincheira aberta em terreno suave ondulado próximo a lagoa no canto sudoeste do campo I; Sabiá, Marmeleiro, Pau Branco, Carnaúba.

LITOLOGIA E FORMAÇÃO GEOLÓGICA: Grupo Barreiras – Terciário.

MATERIAL DE ORIGEM: Sedimentos arenosos e argilosos do grupo Barreiras

RELEVO: Suave ondulado

DRENAGEM: moderadamente drenado

EROSÃO: Laminar ligeira, hídrica

A₁ -0 - 20 cm, bruno acinzentado (10YR 5/2 seco), bruno acinzentado muito escuro (10YR 3/2); areia franca; grãos individualizados; poros muitos, médios e grandes; solto, não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual.

- A₂ - 12 – 35 cm, cinzento brunado (10YR 5/2 seco); bruno escuro (10YR 3/3 úmido); areia franca; maciça, blocos subangulares; poros comuns médios e grandes; friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e clara.
- BA - 35 – 60 cm, bruno escuro (10YR 4/3 seco); mosqueado pouco, distinto, de vermelho-amarelo (5YR 5/6, úmido); franco arenoso, maciça, blocos angulares; poros comuns, pequenos e médios; friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e gradual.
- Bt₁ - 60 – 95 cm, bruno amarelo escuro (10YR 4/3, úmido); mosqueado comum distinto de vermelho amarelado (5YR 5/6, úmido) franco argilo arenoso; moderado, média, blocos subangulares; poros comuns, pequeno e médios; plástico e pegajoso; transição plana e clara.
- Bt₂ - 95 – 120 cm⁺, bruno amarelado (10YR 5/4, úmido); mosqueado comum, distinto de vermelho amarelado (5YR 5/6, úmido) proeminente, vermelho (10R 4/8, úmido); franco argilo arenoso com cascalho; moderado, médio, blocos subangulares; poros comuns, pequenos e médios, plástico e pegajoso.

Obs: Raízes muito finas no horizonte A₁, comuns finas e médias no A₂ e BA, comuns e médias em Bt₁ e Bt₂ (raízes de Carnaubeira).

Resultado das análises físicas.

Hor.	Espessura	Prof.	Análises físicas				Densidade das partículas
			Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	
	(cm)	(cm)			(%)		g cm ⁻³
A ₁	12	0 – 12	63,2	18,9	9,8	8,1	2,57
A ₂	23	12 – 35	61,8	19,9	10,5	7,8	2,60
BA	25	35 – 60	56,8	15,5	10,9	16,8	2,60
Bt ₁	35	60 – 95	48,2	17,5	12,1	22,2	2,63
Bt ₂	-	95 – 120 ⁺	43,9	18,8	12,8	24,5	2,56

Unidade de mapeamento: PVA

Esta unidade de mapeamento simples compreende os ARGISSOLOSVERMELHO AMARELO, sendo esta a classe com maior representatividade, pois ocupa uma área de 39,54 hectares, que corresponde a 27,25% da área total do imóvel. Para determinação desta classe de solo foram realizadas 05 tradagens na área que compreende esta unidade de mapeamento, o Argissolo Vermelho-amarelo foi caracterizado pela presença de B textural. Entretanto só foi possível determinar até o segundo nível categórico, pois não foi possível realizar as demais análises que possibilitaria a classificação até o quarto nível categórico.

Classificação textural e cor da amostra 10

Horz.	Prof. (cm)	Cor (Munsell) - Úmida	Granulometria (g/kg)			Classe textural
			Areia	Silte	Argila	
A	0 – 55	2,5YR 3/2	821,82	77,6	100,6	Arenoso
Bt	55– 80+	5YR 4/6	673,6	245	81,68	Média