



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

KARINE SILVA PIMENTEL

**ESTRESSE HÍDRICO EM GENÓTIPOS DE CAJUEIRO DO BANCO ATIVO DE
GERMOPLASMA DA EMBRAPA**

FORTALEZA

2023

KARINE SILVA PIMENTEL

ESTRESSE HÍDRICO EM GENÓTIPOS DE CAJUEIRO DO BANCO ATIVO DE
GERMOPLASMA DA EMBRAPA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Dr. Marlos Alves Bezerra.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

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

- P698e Pimentel, Karine Silva.
Estresse hídrico em genótipos de cajueiro do banco ativo de germoplasma da Embrapa / Karine Silva Pimentel. – 2023.
76 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Marlos Alves Bezerra.
1. Anacardium occidentale. 2. Crescimento. 3. Trocas gasosas. 4. Déficit hídrico. I. Título.
CDD 630
-

KARINE SILVA PIMENTEL

ESTRESSE HÍDRICO EM GENÓTIPOS DE CAJUEIRO DO BANCO ATIVO DE
GERMOPLASMA DA EMBRAPA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovada em: 08/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marlos Alves Bezerra (Orientador)
Embrapa Agroindústria Tropical

Prof. Dra. Amanda Soraya Freitas Calvet
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Ana Cecília Ribeiro de Castro
Embrapa Agroindústria Tropical

Prof. Dr. Luis Gonzaga Pinheiro Neto
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

A Deus.

Aos meus pais, Maria Das Dores e Leandro
Pimentel.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conduzir nessa jornada acadêmica e por ser a luz que ilumina meu caminho.

À Instituição Capes, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de pós-graduação. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A EMBRAPA Agroindústria Tropical pelo suporte técnico e financeiro que deram a pesquisa. A Universidade Federal do Ceará e o Departamento de Engenharia Agrícola, pela oferta do curso e oportunidade de cursá-lo.

Ao Prof. Dr. Marlos Alves Bezerra, pela sua orientação, sabedoria e dedicação foram fundamentais para o desenvolvimento e sucesso deste trabalho.

Aos meus pais, Leandro Amorim e Maria Das Dores, que desde o início desta jornada, estiveram do meu lado de forma afetuosa, encorajando, apoiando e sendo meu exemplo de sabedoria. Obrigada por tudo, meus queridos pais, porque sem vocês, essa conquista não seria possível.

Aos meus irmãos, Leandro Filho e Leonardo Pimentel, pelo companheirismo e união em toda nossa trajetória.

A todos os meus professores da pós-graduação, que contribuíram com minha formação acadêmica.

Agradeço também a contribuição da técnica de Laboratório de Fisiologia Vegetal, Ionete Nogueira, pelo suporte e conhecimentos ensinados.

A equipe do Laboratório de fisiologia vegetal, Amanda Soraya, e Beatriz Araújo que sempre estiveram presentes em toda a condução e avaliações do experimento.

A minha amiga Daniela Andreska, da Silva, agradeço por estar ao meu lado durante essa jornada acadêmica. Sua amizade é um presente precioso, que valorizo profundamente.

Aos professores integrantes da banca examinadora Amanda Soraya Freitas Calvet, Ana Cecília Ribeiro de Castro e Luís Gonzaga Pinheiro Neto pela dedicação de seu tempo e valiosas sugestões.

Por fim, desejo expressar minha sincera gratidão a todos que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para que eu alcançasse meus objetivos. Compreendo que um trabalho como este não seria possível sem o apoio e colaboração de cada um de vocês. De todo o coração, meu mais profundo agradecimento!

"A educação é o único caminho para realizar
nossos sonhos e alcançar nossos objetivos."
(FREIRE, 1970, p. 45).

RESUMO

O cajueiro é uma planta adaptada ao semiárido e seu cultivo é uma atividade de grande importância social e econômica para o Brasil, principalmente para o Nordeste, contudo a cultura não está imune aos impactos das mudanças climáticas, que incluem padrões imprevisíveis de chuvas. A escassez de água associada às mudanças climáticas representa desafios significativos para a produtividade do cajueiro em regiões já propensas à seca. Assim, o presente estudo objetivou avaliar o crescimento inicial de diferentes clones de cajueiro anão, sob condições de déficit hídrico. Para isso, mudas enxertadas de seis acessos (genótipos) de *Anacardium occidentale* do Banco Ativo de Germoplasma de Caju (CCP 76, BGC 4, BGC 98, BGC 283, BGC 484 e BGC 509) foram submetidas a quatro níveis de capacidades máximas de retenção de água no solo: 100%, 80%, 60% e 40% da máxima capacidade de retenção de água do solo. A pesquisa foi conduzida em delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), em arranjo fatorial 6x4, com 4 repetições de 4 plantas. Avaliou-se a altura das plantas, diâmetro do caule, número de folhas, taxa fotossintética, taxa de transpiração, condutância estomática, área foliar, massas frescas e secas e teores de açúcares solúveis dos diversos órgãos. As trocas gasosas foram afetadas pela redução da capacidade máxima de retenção de água no solo de forma semelhante para todos os genótipos, com a condutância estomática sendo o parâmetro mais afetado. Das variáveis de crescimento, apenas o número de folhas foi afetado diferencialmente entre os genótipos, com o CCP 76 mais afetado. O clone BGC 283 apresentou o maior número de folhas e o CCP 76 obteve o desempenho mais significativo quanto ao diâmetro do caule e de altura da planta. A área foliar e as massas frescas e secas dos diversos órgãos foram reduzidas pela diminuição da capacidade máxima de retenção de água no solo, sem distinção entre os genótipos, com o CCP 76 apresentando maior área foliar e maiores massas frescas e secas. Por fim, os açúcares solúveis totais foram aumentados nos três órgãos, com a redução da umidade do solo, sem haver distinção entre os genótipos.

Palavras-chave: *Anacardium occidentale*; crescimento; trocas gasosas; déficit hídrico.

ABSTRACT

The cashew tree is a plant adapted to the semi-arid region and its cultivation is an activity of great social and economic importance for Brazil, especially for the Northeast, however the crop is not immune to the impacts of climate change, which include unpredictable rainfall patterns. Water scarcity associated with climate change poses significant challenges to cashew productivity in regions already prone to drought. Thus, the present study aimed to evaluate the initial growth of different cashew clones under water deficit conditions. To this end, changes implemented in six accessions (genotypes) of *Anacardium occidentale* from the Active Cashew Germplasm Bank (CCP 76, BGC 4, BGC 98, BGC 283, BGC 484 and BGC 509) were imposed at four levels of maximum maintenance capacities of water in the soil: 100%, 80%, 60% and 40% of the soil's maximum water retention capacity. The research was conducted in a randomized block design (DBC), in a 6x4 factorial arrangement, with 4 replications of 4 plants. Ordinarily, plant height, stem diameter, number of leaves, photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance, leaf area, fresh and dry masses and soluble sugar content of various organs are considered. Gas exchange was affected by the reduction in maximum water retention capacity in the soil in a similar way for all genotypes, with stomatal conductance being the most affected parameter. Of the growth variables, only the number of leaves was differentially affected between genotypes, with CCP 76 most affected. Clone BGC 283 presented the highest number of leaves and CCP 76 had the most significant performance in terms of stem diameter and plant height. The leaf area and the fresh and dry masses of the various organs were reduced by the reduction in the maximum water retention capacity in the soil, without distinction between the genotypes, with CCP 76 presenting a larger leaf area and higher fresh and dry masses. Finally, total soluble sugars were increased in the three organs, with a reduction in soil moisture, without any distinction between genotypes.

Keywords: *Anacardium occidentale*; growth; gas exchange; water déficit.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização do município de Fortaleza, Ceará, Brasil.....	29
Figura 2 – Dados de temperatura média mínima e máxima e umidade relativa do ar dentro da casa de vegetação durante o período experimental (2023).....	31
Figura 3 – Mudanças de cajueiro enxertadas em Pacajus – Ceará	31
Figura 4 – Croqui do experimento com genótipos, tratamentos e blocos.....	32
Figura 5 – Volume aplicado de água em cada tratamento (mL) ao longo do experimento	33
Figura 6 – Mensuração da altura da planta (A) e diâmetro do colo (B) em mudas de cajueiro	34
Figura 7 – Medição de trocas gasosas foliares (A , g_s e E) em genótipos de cajueiro submetidos a aplicação de diferentes capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%).....	35
Figura 8 – Análise de regressão da fotossíntese líquida (A) (A), transpiração foliar (E) (B) e condutância estomática (g_s) (C) aos 15 DAT em diferentes genótipos de cajueiro em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%)	40
Figura 9 – Análise de regressão da fotossíntese líquida (A) (A) e transpiração foliar (E) (B) aos 30 DAT em diferentes genótipos de cajueiro em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%).....	41
Figura 10 – Análise de regressão da condutância estomática (g_s) aos 30 DAT em diferentes genótipos de cajueiro em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%).....	42
Figura 11 – Análise de regressão da fotossíntese líquida (A) (A) e condutância estomática (g_s) (B) aos 45 DAT em diferentes genótipos de cajueiro em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%).....	43

Figura 12 – Altura da planta (AP) (A) e diâmetro do caule (DC) (B) e número de folhas (C) de seis genótipos de cajueiro	45
Figura 13 – Análise de regressão do número de folhas (NF) de seis genótipos de cajueiro aos 15 DAT submetidos a diferentes capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%).....	46
Figura 14 – Análise de regressão da altura da planta (AP) sob capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%) (A) e altura da planta (AP) de seis genótipos de cajueiro aos 30 DAT (B).....	47
Figura 15 – Análise de regressão do diâmetro do caule (DC) sob capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%) (A) e diâmetro do colo (DC) de seis genótipos de cajueiro aos 30 DAT (B).....	47
Figura 16 – Análise de regressão do número de folhas (NF) de seis genótipos de cajueiro aos 30 DAT sob capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%).....	49
Figura 17 – Análise de regressão da altura de plantas (AP) (A) e do diâmetro do caule (C) sob capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%) e altura da planta (AP) (B) e diâmetro do caule (DC) de seis genótipos de cajueiro aos 45 DAT (D).....	50
Figura 18 – Análise de regressão do número de Folhas (NF) sob capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%) (A) e número de folhas (NF) de seis genótipos de cajueiro aos 45 DAT (B).....	52
Figura 19 – Análise de regressão da área foliar de seis genótipos de cajueiro em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%) (A) e área foliar dos seis genótipos (B).....	53
Figura 20 – Análise de regressão da massa fresca foliar de cajueiro anão em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água (CMRA) no solo (A) e massa fresca foliar de seis genótipos (B).....	55
Figura 21 – Análise de regressão da massa fresca caulinar de cajueiro anão em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água (CMRA) no solo (A) e massa fresca caulinar de seis genótipos (B).....	56

Figura 22 – Análise de regressão da massa fresca radicular de cajueiro anão em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água (CMRA) no solo (A) e massa fresca radicular de seis genótipos (B).....	58
Figura 23 – Análise de regressão da massa seca foliar de cajueiro anão em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água (CMRA) no solo (A) e massa seca foliar de seis genótipos (B)	59
Figura 24 – Análise de regressão da massa seca caulinar de cajueiro anão em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água (CMRA) no solo (A) e massa seca caulinar de seis genótipos (B)	60
Figura 25 – Análise de regressão da massa seca radicular de cajueiro anão em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água (CMRA) no solo (A) e massa seca radicular de seis genótipos (B)	61
Figura 26 – Análise de regressão dos carboidratos foliares de cajueiro anão em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água do solo.....	63
Figura 27 – Análise de regressão dos carboidratos radiculares de cajueiro anão em função de capacidades máximas de retenção de água do solo (A) e carboidratos radiculares dos seis genótipos utilizados (B).....	64
Figura 28 – Análise de regressão de açúcares solúveis totais nos caules de genótipos distintos, submetidas aos tratamentos de 40, 60, 80 e 100% da capacidade máxima de retenção de água do solo.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Características da planta de distintos acessos de cajueiro e incidência a doenças.....	26
Tabela 2 –	Características morfológicas do fruto e pedúnculo de diferentes acessos de cajueiro.....	27
Tabela 3 –	Atributos químicos do solo utilizado no cultivo das plantas no experimento. Fortaleza, Ceará, 2023.....	30
Tabela 4 –	Análise da água de irrigação utilizada nos tratamentos das plantas durante o experimento – Fortaleza, Ceará, 2023.....	30
Tabela 5 –	Resumo da análise de variância e valores médios para fotossíntese líquida (<i>A</i>), transpiração foliar (<i>E</i>) e a condutância estomática (<i>g_s</i>) de diferentes genótipos de cajueiro, submetidos a diferentes tipos níveis de capacidades máximas de retenção de água (CMRA) no solo (40%, 60%, 80% e 100%), aos 15, 30 e 45 após o tratamento (DAT).....	38
Tabela 6 –	Resumo da análise de variância e valores médios para a altura da planta (AP), diâmetro do colo (DC) e do número de folhas (NF) de diferentes genótipos de cajueiro, submetidos a diferentes tipos níveis de capacidades máximas de retenção de água (CMRA) no solo (40%, 60%, 80% e 100%), aos 15, 30 e 45 após o tratamento (DAT).....	44
Tabela 7 –	Resumo da análise de variância da área foliar de diferentes genótipos de cajueiro submetidos a diferentes capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%).....	53
Tabela 8 –	Resumo da análise de variância de massas fresca de folhas, raízes e caule de diferentes genótipos de cajueiro submetidos a diferentes capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%).....	55
Tabela 9 –	Resumo da análise de variância massas secas de folhas, raízes e caule de diferentes genótipos de cajueiro submetidos a diferentes capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%).....	59
Tabela 10 –	Resumo da análise de variância de açúcares solúveis totais de folhas, raízes e caule de diferentes genótipos de cajueiro submetidos a diferentes	

capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%)..... 62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVO GERAL	15
2.1	Objetivos específicos	15
3	REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1	Origem e aspectos botânicos do cajueiro	17
3.2	Importância socioeconômica do cajueiro	18
3.3	O déficit hídrico nos vegetais	20
3.4	O déficit hídrico no cajueiro	21
3.5	Impactos das mudanças climáticas sob a cultura do cajueiro	24
3.6	Banco Ativo de Germoplasma de Caju (<i>Anacardium sp.</i>)	25
3.7	Caracterização dos genótipos	26
4	MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1	Localização e caracterização da área experimental	29
4.2	Obtenção das mudas enxertadas	31
4.3	Implantação e disposição dos tratamentos	32
4.4	Manejo das plantas	33
4.5	Variáveis analisadas	34
4.5.1	<i>Variáveis de crescimento não destrutivas</i>	34
4.5.2	<i>Trocas gasosas</i>	34
4.5.3	<i>Variáveis de crescimento destrutivas</i>	35
4.5.4	<i>Carboidratos solúveis totais</i>	36
4.5.5	<i>Taxa de sobrevivência das plantas</i>	36
4.6	Análises estatísticas	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1	Trocas gasosas	38
5.2	Análises de crescimento	44
5.3	Área foliar (m²)	45
5.4	Massa fresca	55
5.5	Massa seca	58
5.6	Carboidratos solúveis totais	62
5.7	Taxa de sobrevivência das plantas	65

6	CONCLUSÃO.....	67
	REFERÊNCIAS.....	68

1 INTRODUÇÃO

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.), planta pertencente à flora tropical, encontra-se naturalmente em diversos ecossistemas no Nordeste do Brasil, especialmente nas zonas costeiras, compondo a vegetação de praias, dunas e restingas (ABREU, 2007).

De acordo com Rabbani et al. (2012), a espécie é amplamente cultivada em áreas de escassez hídrica, como no Semiárido nordestino, uma região caracterizada por peculiaridades em seu clima, solo, condições ecológicas, econômicas, sociais e biológicas. Geralmente, essa região apresenta solos de baixa fertilidade e, por vezes, alta salinidade, além de altas temperaturas, com índices pluviométricos baixos, irregulares e muitas vezes insuficientes para atender às necessidades hídricas das plantas.

Apesar do cajueiro ser reconhecido como uma planta adaptada ao litoral Nordestino, a água é apontada como o principal fator abiótico restritivo para seu desenvolvimento e potencial produtivo, principalmente em longos períodos de escassez hídrica. Portanto, é vital compreender a necessidade hídrica da cultura e determinar o manejo correto da irrigação em cajueiro quando necessário (CARR, 2014).

As mudanças climáticas globais representam um desafio adicional para a produção de cajueiros, pois alterações nos padrões de temperatura e precipitação podem impactar diretamente o ciclo de vida da planta e a distribuição geográfica dos genótipos, bem como o aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como secas prolongadas ou chuvas intensas, pode comprometer a estabilidade da produção de caju (MANGALASSERY, 2019).

A mortalidade de plantas jovens de cajueiro sob estresse hídrico pode ser influenciada por vários fatores, incluindo a intensidade e a duração do estresse, as características genéticas da planta, as condições do solo e outros fatores ambientais. Em fases iniciais, como germinação e desenvolvimento de mudas, a tolerância à escassez hídrica costuma ser menor em comparação com plantas em estágios mais avançados de desenvolvimento, como aquelas em condições de campo (CARNEIRO et al., 2002).

Em 2021, segundo o IBGE, o plantio de cajueiro no Brasil ocupava uma área de 424,3 mil ha e foram produzidas mais de 120,8 mil toneladas (IBGE, 2023), com 99,7% dessa extensão situada no Nordeste, responsável por quase toda a produção da amêndoa da castanha-de-caju do país com 99,39%, destacando-se os estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte.

Apesar da significativa importância econômica e social do cultivo do cajueiro, vem sendo constatado uma diminuição na produção desse fruto (castanha de caju), bem como se confrontarmos a produção de 2012 com 2022, a redução foi de mais de 50% (IBGE, 2022).

Diversos fatores contribuem para esse declínio, tais como mudanças climáticas, pragas e doenças como o oídio, morfo preto, resinose e a antracnose têm impacto negativo nas plantações, diminuindo a produtividade. Além disso, o desmatamento e as práticas agrícolas inadequadas também desempenham um papel crucial (VIDAL, 2017).

Em contraste, cresce a demanda por produtos derivados do cajueiro, o que aumenta a necessidade de pesquisas com finalidade de compreender os processos fisiológicos de seu desenvolvimento e produtividade, essencialmente sob circunstâncias adversas, ou seja, se torna relevante estudos que considerem o desenvolvimento da planta associado com fatores físicos, climáticos e do ambiente que otimize os recursos disponíveis, como a eficiência no uso da água, e utilização de recursos genéticos para selecionar genótipos com capacidade adaptativa a diferentes ambientes, principalmente aqueles sob estresse hídrico (MANGALASSERY et al., 2019).

O cajueiro apresenta um elevado nível de heterogeneidade nas suas populações, sendo justificado pelo sistema reprodutivo prevalente alogâmico. A principal relevância dessa variabilidade genética é que através dela ocorre a adaptação e evolução de indivíduos ao ambiente, fundamental para que a seleção natural possa atuar (RABBANI et al., 2012).

Nesse contexto, é relevante ressaltar que na cultura do caju, a seleção de recursos e melhoramento genético desempenham papéis importantes. Tais estratégias reduzem o tempo para a obtenção de dados significativos sobre maturidade, qualidade, adaptação a diferentes ecossistemas, produtividade e resistência a doenças e pragas. Diante dessa perspectiva, os bancos de germoplasma emergem como mecanismos essenciais para garantir a conservação da diversidade genética das espécies (BARROS et al., 2004).

Isso aumenta a necessidade de se conhecer, avaliar e utilizar a base genética disponível no Banco Germoplasma Ativo do Caju (BAG-Caju) para conseguir material com características de interesse (RABBANI et al., 2012).

Assim, a importância da presente pesquisa está na possibilidade de estudar a interação de genótipos contrastantes de cajueiro na fase inicial de desenvolvimento (mudas) pertencentes ao BAG-Caju, sob condições de déficit hídrico.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

- Avaliar o comportamento de genótipos de cajueiro do Banco Ativo de Germoplasma de Caju (BAG - Caju), quando submetidos a condições de déficit hídrico.

2.2 Objetivos específicos

- Verificar a influência do estresse hídrico na sobrevivência das plantas;
- Avaliar as respostas dos diferentes genótipos ao estresse hídrico, quanto ao aparato de captação de CO₂ e de perda de água;
- Analisar o crescimento dos genótipos de cajueiro sob condições diferenciadas de dotação hídrica.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Origem e aspectos botânicos do cajueiro

O Brasil é reconhecido como o provável centro de origem do cajueiro e um importante centro de diversidade para a maioria das espécies do gênero *Anacardium*. O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é encontrado em diversos biomas brasileiros, incluindo a Mata Atlântica, Amazônia, Caatinga, e Cerrado e Pampa, além de ser encontrado na maioria das regiões tropicais do mundo, desde o Sul da Flórida até a África do Sul (SILVA-LUZ et al., 2020).

A espécie pertence à família Anacardiaceae, que abrange cerca de 70 gêneros e 700 espécies. No gênero *Anacardium*, ao qual o cajueiro pertence, existem aproximadamente 22 espécies, sendo 21 nativas das Américas do Sul e Central e uma da Malásia (NAIR, 2021).

As folhas do cajueiro são simples, alternadas, inteiras, glabras e têm aspecto subcoriáceo, com pecíolos curtos. O sistema radicular é caracterizado por uma raiz pivotante bem desenvolvida e geralmente bifurcada, com raízes laterais capazes de se expandirem até duas vezes a área da copa (DENDENA; CORSI, 2014).

Durante o desenvolvimento do cajueiro, são identificadas duas fases de crescimento dos ramos: uma fase reprodutiva e outra vegetativa, sendo observado neste último a ocorrência de dois tipos de ramificação: intensiva e extensiva. A ramificação intensiva, também conhecida como produtiva, origina uma inflorescência no ápice dos ramos, resultando em panículas, o que proporciona à copa uma forma de guarda-chuva. Já a ramificação extensiva, ou vegetativa, não produz panículas e resulta em uma copa desuniforme e engalhada (SERRANO; OLIVEIRA, 2013).

O cajueiro é uma espécie alógama, reproduzindo-se preferencialmente por meio de cruzamento. Nesse caso, o processo de polinização ocorre com pólen de plantas distintas. A inflorescência do tipo panícula, que surge no ápice dos ramos, contém flores hermafroditas (completas) e masculinas (estaminadas) (DENDENA; CORSI, 2014).

Dentre todas as espécies de cajueiro, apenas a *Anacardium occidentale* L. é uma planta perene de origem brasileira, explorada comercialmente e classificada, de acordo com sua variabilidade fenotípica os tipos: anão (de porte baixo) e comum (de porte alto) (CARNEIRO, 2017).

As principais características que distinguem o cajueiro-comum do cajueiro-anão, são o porte, produção tardia e tempo de safra mais curto do que o cajueiro-anão. Embora

individualmente o cajueiro comum apresente maior potencial produtivo, os pomares constituídos com cajueiro-anão vêm apresentando maiores produtividades, pois permitem o plantio de um maior número de plantas por hectare (OLIVEIRA et al., 2020).

O cajueiro-anão possui altura média de 4 m e uma envergadura que varia de 5 m a 6,5 m, iniciando o florescimento entre 6 e 18 meses, bem como devido ao seu menor tamanho e facilidade de colheita, permite maior utilização do pseudofruto para comercialização no mercado de fruta de mesa e suco (BORGES, 2021). O peso dos frutos e pedúnculo produzidos pelo cajueiro-anão demonstra uma menor variabilidade em comparação ao tipo comum (ARAÚJO, 2015).

Por outro lado, o cajueiro-comum alcança 8m a 15m de altura e 5m a 8m de envergadura (projeção da copa), que pode a 20 metros em alguns casos. O peso da castanha do cajueiro-comum pode alcançar de 3 a 33 g e do pedúnculo variando de 20 a 500 g (OLIVEIRA et al., 2020).

Das e Arora (2017) explicam que do ponto de vista nutricional, a amêndoa da castanha de caju é considerada um dos principais produtos provenientes do cajueiro, sendo fonte de lipídeos, proteínas, carboidratos, ferro e fósforo, além de magnésio, zinco, gordura insaturada e fibras, que ajudam na diminuição do nível de colesterol no sangue. Por sua vez, o pedúnculo é uma importante fonte de fibras, vitamina C, vitaminas do Complexo B, Ferro e compostos antioxidantes, que são essenciais para a saúde humana.

3.2 Importância socioeconômica do cajueiro

A cultura do caju desempenha um papel de grande importância socioeconômica tanto para o Brasil, quanto para outras regiões do mundo, destacando-se o vínculo estreito dessa atividade com pequenos produtores rurais, bem como o país ocupa a 9ª posição entre os maiores produtores mundiais de castanha de caju, produzindo em média 120 mil toneladas (IBGE, 2023). A castanha de caju produzida no país é destinada principalmente ao mercado externo, tendo como maiores importadores os Estados Unidos, Alemanha e Holanda, respondendo por 51,5% do total (FAOSTAT, 2020).

No contexto brasileiro, a relevância econômica e social do cajueiro é especialmente significativa no Nordeste, que concentra mais de 98% da produção nacional de castanha de caju (CC). Desse percentual regional, 91% é proveniente dos estados do Ceará (55, 2%), Piauí (20,7%) e Rio Grande do Norte (14,9%), reconhecidos como principais produtores (IBGE, 2023).

Em 2020, na região Nordeste do Brasil, o cajueiro representou aproximadamente 26% da área de plantio de frutíferas. Nesse mesmo ano, o Estado do Ceará reforçou seu papel de destaque no cenário nacional da cajucultura, contribuindo com 57% da produção total e colhendo cerca de 271 mil hectares. Entretanto, é importante ressaltar que, apesar desse desempenho expressivo, o Ceará foi um dos estados com maior perda de área plantada nos últimos anos, mantendo uma alta produtividade principalmente pela implantação do cajueiro-anão (IBGE, 2023).

O principal produto comercializado na cajucultura é a castanha-de-caju, porque da qual são extraídos a amêndoa-de-caju (ACC) e o líquido da casca da castanha (LCC), utilizado na fabricação de uma variedade de produtos, incluindo resinas, revestimentos, isolamentos térmicos, vernizes, pesticidas, fungicidas e inseticidas. Já o pedúnculo possui valor associado à indústria de produção de sucos, cajuína, doces, polpas e alimentação (VIDAL, 2017).

Além disso, conforme destacado por Linard et al. (2015), a cajucultura também colabora economicamente com a geração de empregos no campo e na cidade, mediante as usinas de processamento de castanha e do pedúnculo, na criação de renda e impostos para os estados produtores, que em período de estiagem, na entressafra das culturas tradicionais como mandioca, algodão, milho e feijão, etapa de maior intensificação do uso da mão-de-obra, ganha uma função estratégica na atenuação da sazonalidade na renda e na ocupação da mão de obra, contribuindo assim para evitar o êxodo rural.

A crescente demanda por castanha de caju em todo o mundo, especialmente em economias desenvolvidas e emergentes, é incentivada por vários fatores. Parte disso, inclui o reconhecimento de seus benefícios nutricionais e de saúde, bem como o aumento da preferência por dietas à base de plantas (ABREU, 2007).

A exploração econômica do cajueiro é vital para a Região Nordeste do Brasil, consistindo em uma atividade agrícola com uma planta perene em regime de sequeiro que é viável tanto economicamente quanto agronomicamente, mesmo sob as condições de baixas precipitações pluviais típicas dessa região (BRAINER; VIDAL, 2018).

No entanto, a cajucultura está evidenciando sinais de declínio, com baixa rentabilidade e produtividade, uma situação que foi agravada pelo período de seca entre 2012 e 2016. Esse evento teve impactos tão severos no Estado que, vários municípios cearenses ainda enfrentam uma situação preocupante até hoje, assim como outros estados nordestinos também registraram perdas significativas de áreas cultivadas. (VIDAL, 2017). No entanto,

pomares de cajueiro-comum antigos já estão sendo substituídos por variedades mais produtivas.

3.3 O déficit hídrico nos vegetais

Durante seu desenvolvimento, as plantas são expostas a diversos estresses abióticos encontrados na biosfera, como por exemplo, estresse oxidativo, deficiência de nutrientes, salinidade, seca, temperaturas extremas, toxicidade química, entre outros. Esses fatores podem desequilibrar o ambiente natural, causando perturbações na agricultura e no abastecimento alimentar, culminando em insegurança alimentar (SELEIMAN et al., 2021).

Os fatores que regem condições de estresse ambiental interferem na homeostase e desencadeiam uma série de alterações bioquímicas, fisiológicas, moleculares e morfológicas nas plantas, resultando em impactos negativos no crescimento e na produtividade vegetal (GONG et al., 2020).

A água desempenha uma função essencial em todos os processos fisiológicos dos seres vivos, por ser o principal meio de transporte de nutrientes e metabólitos (SELEIMAN et al., 2021). A insuficiência de precipitação pluviométrica provoca uma diminuição da turgescência e do potencial hídrico de uma planta, o que dificulta o organismo executar suas funções fisiológicas. Portanto, o déficit hídrico é um dos principais fatores que limitam a distribuição geográfica, a sobrevivência e a produtividade das plantas (NADEEM et al., 2019).

De acordo com Lisar (2012), a sazonalidade e a escassez de chuvas prejudicam significativamente a fixação e a longevidade das plantas, uma vez que a água compõe de 80% a 95% da biomassa fresca dos vegetais e exerce uma função importante no crescimento, metabolismo e processos fisiológicos. Como resultado dessas perturbações, algumas culturas podem atingir uma redução de até 50% em seus rendimentos médios.

No entanto, Rinschen et al. (2019) salientaram a existência de espécies que possuem altas capacidades adaptativas intrínsecas às condições de um determinado estresse, com uma sequência de ações bioquímicas e fisiológicas que envolvem a função de vários genes relacionados ao estresse, ou seja, em determinados casos, certas variedades de plantas são consideradas como tolerantes à dessecação durante os estágios adultos de seu ciclo de vida.

Por sua vez, Martins (2021) destaca que, apesar do déficit hídrico afetar diversos aspectos comuns dos indivíduos, a tolerância a esse fator abiótico pode conferir uma vitória evolutiva ao vegetal.

As plantas tolerantes, portanto, têm a aptidão de suportar as condições mais adversas ao reduzir a utilização de recursos obtidos ou modificando redes de nível molecular de transdução de pico, a fim de mitigar o impacto externo para outros órgãos ou partes da planta. Exemplos dessas adaptações incluem a regulação estomática das plantas, com a direta atuação dos hormônios vegetais, as atividades das enzimas de defesa e o papel importante papel do metabolismo de fenólicos (TAIZ et al., 2017).

Uma das mudanças mais significativas é o rápido fechamento dos estômatos, resultando em uma atenuação expressiva nas taxas de transpiração foliar. Isso objetiva preservar a tensão do xilema em níveis seguros e economizar água, além de afetar o crescimento de caules, o desenvolvimento das folhas, a fotossíntese, os sistemas de defesa, a regulação hormonal vegetais e provocar aumento dos danos oxidativos (SELEIMAN et al., 2021).

A mortalidade de plantas por influência das mudanças climáticas globais como o aumento da temperatura média e incidência na severidade da seca, vem aumentando progressivamente nos últimos anos, fato que evidencia um grande revés para os ecossistemas agrícolas e naturais (GUO et al., 2018).

Com base nisso, é necessário tomar decisões bem fundamentadas em relação a escassez hídrica na cajucultura, levando em consideração previsões futuras sobre esse cenário. Essas decisões devem incluir a implementação de medidas alternativas para suprir ou mitigar os problemas ambientais decorrentes da falta de água (VIDAL, 2017).

Em resumo, enfrentar a escassez hídrica na cajucultura requer uma abordagem multifacetada, que promova o uso eficiente da água, assegure a sustentabilidade ambiental e econômica, e prepare para os desafios vindouros relacionados ao clima e à disponibilidade de recursos hídricos (CARR, 2014).

O uso de plantas tolerantes à seca acaba sendo uma possibilidade viável, pois segundo Pandey et al. (2017), as mesmas otimizam o uso da água, sendo essencial o entendimento dos mecanismos e quais características do vegetal são encarregados por conceder maior tolerância à seca.

3.4 O déficit hídrico no cajueiro

Apesar do cajueiro ser reconhecido pela sua tolerância à seca e adaptação ao semiárido brasileiro, não é isentado dos efeitos da intensa adversidade hídrica. Muitos dos pomares estão estabelecidos em regimes de sequeiro, mas isso não significa que a planta possa prosperar em condições de extrema escassez de água. Pelo contrário, tal cenário pode resultar em redução da produtividade, e para se manter competitivo no mercado, o cajueiro não dispensa a utilização de insumos agrícolas (OLIVEIRA et al., 2020).

Entre 2016 e 2017, os pomares de cajueiro enfrentaram uma significativa perda de 13,86% em sua extensão territorial no Nordeste brasileiro, em virtude da seca que dominou a região durante esse período (BRAINER; VIDAL, 2018).

Para Oliveira (2002), o surgimento do cajueiro-anão foi motivado pela busca por maior rentabilidade, oferecendo produtividade em regime de sequeiro de aproximadamente 1.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de castanha e 10.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de pedúnculo, tendo a capacidade de chegar a 3.800 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de castanha e 30.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de pedúnculo mediante manejo e irrigação adequados.

Conforme descrito por Paiva e Barros (2004) é fundamental garantir uma quantidade apropriada de água para a cultura, a fim de assegurar um desempenho e uma produção satisfatórios, levando em conta que a deficiência hídrica pode afetar os processos bioquímicos e fisiológicos das plantas, prejudicando assim sua produção.

Atualmente, as variações climáticas e adversidades estão se tornando cada vez mais evidentes, destacando a vulnerabilidade das plantas aos diversos tipos de estresse. Na literatura, há uma escassez de pesquisas relacionadas às respostas fisiológicas da cultura do cajueiro em condição de irrigação ou sequeiro, havendo poucos estudos sobre os efeitos do déficit hídrico em plantas adultas de cajueiro-anão (MACÊDO, 2013).

Alguns autores mostram que a capacidade fotossintética das plantas pode ser negativamente impactada pela interrupção da irrigação, podendo essa redução influenciá-la diretamente, através da desidratação do aparato fotossintético, ou pelo efeito indireto associado ao fechamento estomático (TAIZ et al. 2017; AMORIM et al., 2010).

Com o aumento da severidade do estresse hídrico, outras alterações podem ocorrer, como o aumento da resistência mesofílica à difusão de CO₂, modificações nas atividades enzimáticas das fases bioquímicas da fotossíntese, do metabolismo dos carboidratos e nitrogênio, além de possíveis modificações no estoque de fósforo inorgânico na planta podem ser alterado (LIMA et al., 2010).

A influência do déficit hídrico no desempenho e na recuperação da homeostase da planta é resultado da interação entre sua informação genética, a intensidade, a gravidade e a

duração do estresse. O momento em que ocorre a escassez de água, em relação ao estágio fenológico de desenvolvimento da cultura, também influencia a resposta ao déficit hídrico. Quanto mais prolongado for o período de déficit, mais severa será a desidratação e maior o risco de danos ao aparelho fotossintético (MARTINS, 2021).

Cavalcanti (2007), ao estudar o estresse hídrico em cajueiros-anões sob irrigação por gotejamento, em ambiente protegido, observou que plantas submetidas ao déficit hídrico na fase vegetativa apresentaram reduções significativas no número, tamanho e qualidade dos frutos. A qualidade dos frutos é influenciada pela expressão do potencial genético da planta, mas ela requer condições edafoclimáticas adequadas, especialmente água e nutrientes.

A qualidade dos frutos é influenciada pela expressão do potencial genético da planta, porém ela precisa de condições edafoclimáticas adequadas, principalmente água e nutrientes. Cavalcanti et al. (2008) observaram que em clones CCP 76 de cajueiro, o estresse hídrico afetou a condutância estomática e, conseqüentemente, a fotossíntese.

Almeida et al. (2018) conduziram um estudo para verificar a influência da região litoral e sertão no desenvolvimento de genótipos de cajueiros, considerando a produção de fotoassimilados na planta e, por conseguinte, sua distribuição para a formação dos frutos, impactando nos atributos físicos do caju. Na região litoral, ficou evidenciado plantas mais desenvolvidas, com copas folhosas, verdes e bem desenvolvidas, indicando certamente maior taxa fotossintética, em razão das condições climáticas e nutricionais, oportunizadas por este ambiente, resultando também no maior acúmulo de carboidratos, e por conseqüência aumento na quantidade de biomassa, o que por sua vez aumenta a produção de castanhas e pedúnculos.

Entretanto, as plantas do sertão apresentavam características opostas das presentes no litoral, com a quantidade de folhas inferior e uma copa atrofiada, fato que, possivelmente é influenciado pelas condições do clima semiárido, quente e seco, bem como com índice pluviométrico baixo, temperaturas elevadas, baixa umidade relativa do ar e intensa exposição solar e evaporação, além disso condições edáficas associado com o estado nutricional podem impactar negativamente a produtividade dos cajueiros (ALMEIDA et al., 2018).

Bezerra et al. (2007) afirmaram que os cajueiros prosperam em áreas semiáridas, onde na maioria das vezes há escassez de água e o excesso de salinidade. A deficiência hídrica diminui a absorção de nutrientes do solo, limitando sua disponibilização na zona radicular, podendo modificar sua morfologia.

Amorim et al., (2010) encontraram diferenças nos teores de N-aminossolúveis e prolina ao avaliar a produção e fisiologia do cajueiro-anão em condições de sequeiro e

irrigado, com maiores concentrações encontradas em plantas não irrigadas, indicando que essas variáveis podem ser usadas como indicadores de déficit hídrico.

3.5 Impactos das mudanças climáticas sob a cultura do cajueiro

As mudanças climáticas têm impactos significativos sobre a cultura do cajueiro, influenciando seu desenvolvimento, produtividade e qualidade dos frutos. Estudos nessa temática, oferece informações valiosas sobre os efeitos das alterações climáticas nessa cultura, bem como uma pesquisa conduzida por Capelari (2022) indicou que o aumento da temperatura média do ar pode resultar em uma diminuição na produtividade do cajueiro devido ao estresse térmico. O calor excessivo prejudica a floração, polinização e formação dos frutos, resultando em menor número de castanhas e menor qualidade dos mesmos.

A diminuição das precipitações ou alterações nos padrões de chuva podem afetar o balanço hídrico do solo, comprometendo o crescimento das raízes e a absorção de nutrientes pelos cajueiros (BEZERRA et al., 2017).

Cardoso e Viana (2011) ressaltaram a ligação entre as mudanças climáticas e o aumento da incidência de doenças fúngicas nos cajueiros. O aumento da umidade relativa do ar e o aumento das temperaturas contribuem para o desenvolvimento de patógenos, como a antracnose, comprometendo a qualidade dos frutos e reduzindo a produção, assim como também as alterações nos padrões de temperatura e umidade podem interferir na presença, sobrevivência e atividade de insetos polinizadores, o que pode comprometer a taxa de fertilização das flores e a formação dos frutos. Diante desses impactos, é fundamental adotar estratégias de adaptação e mitigação (CARDOSO; VIANA, 2011).

Figueiredo *et al* (2016) enfatizam a significância do manejo do solo, como a aplicação de cobertura morta e técnicas de conservação da água, como medidas para minimizar os efeitos negativos das mudanças climáticas sobre o cajueiro.

Em suma, os estudos mencionados e vários outros evidenciam os impactos das mudanças climáticas sobre a cultura do cajueiro. Essas alterações afetam desde o desenvolvimento dos frutos até a produtividade da cultura (CAPELARI, 2022). A compreensão desses impactos e a adoção de práticas adaptativas são essenciais para garantir a sustentabilidade e resiliência dessa importante cultura agrícola diante dos desafios climáticos futuros.

3.6 Banco Ativo de Germoplasma de Caju (*Anacardium sp.*)

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) possui um Banco Ativo de Germoplasma do Caju (BAG-Caju), preservando várias espécies como: *Anacardium occidentale*, *Anacardium humile*, *Anacardium microcarpum*, *Anacardium othonianum*, *Anacardium spruceanum* e *Anacardium sp* (LIMA et al. 2012).

Os primeiros acessos desse banco foram coletados em 1956 e cultivados no campo experimental de Pacajus-CE de fruteiras nativas. O BAG-caju é considerado o mais antigo da Embrapa e o maior banco genético do Brasil em quantidade de acessos, provenientes dos estados do Ceará, Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Minas Gerais, Pará, Pernambuco, Paraíba, Piauí, Rio Grande do Norte, Roraima, São Paulo e Tocantins. A espécie *Anacardium occidentale* destaca-se com 92,1% do total desses registros (CASTRO; VASCONCELOS, 2021). Os acessos são preservados sob condições de campo, sendo feito a clonagem e replantados em uma extensão de área única, incluindo também a criação de uma coleção duplicata em vasos.

A importância desses recursos genéticos do cajueiro é considerável, uma vez que, além de seu valor para agricultura, o cajueiro é uma das espécies que resistem as condições de aridez, mantendo-se verde mesmo em período de seca. As perdas de variabilidade genética do cajueiro decorrentes de exploração irracional são significativas e correm principalmente devido à destruição de seus habitats naturais, motivando à supressão dos recursos genéticos, o que pode levar a perda de muitos genes favoráveis e características agrônômicas desejáveis, tais como alta produtividade e resistência à seca, a pragas e doenças (PAIVA; CRISÓSTOMO; BARROS, 2003).

As iniciativas de melhoramento genético de plantas de cajueiro vêm sendo direcionadas para coleções de germoplasma e seleção de materiais superiores, considerando a caracterização da variabilidade genética existente na espécie como o primeiro passo em um programa de melhoramento (WALTER; CAVALCANTI, 2005).

Para que os programas de melhoramento de caju tenham condições para produzirem clones adaptados à diferentes ambientes e de cultivo, é de fundamental importância o acesso a uma diversidade genética quantificada e disponibilizada aos melhoristas. Dada o alto nível de heterogeneidade nas suas populações, Melo et al. (2018) afirmam que ainda não foi possível determinar variedades na espécie, sendo classificadas apenas como tipo anão e tipo comum e, posto isto, a ampla disponibilidade da variabilidade genética da espécie possibilita que pesquisas em recursos genéticos e melhoramento do

cajueiro possam caracterizar e produzir clones adaptados a novos ambientes.

Linhares (2019) destaca que a utilização da variabilidade expressa no BAG-Caju tem sido uma ferramenta relevante para a cajucultura, pois diversos caracteres são objetos de pesquisas como: peso da amêndoa, produtividade, qualidade do pedúnculo; resistência às doenças; redução do porte da planta; maior precocidade e alongamento do período de frutificação.

3.7 Caracterização dos genótipos

Na cajucultura, diversos caracteres foram aprimorados por meio da contribuição genética proveniente do Banco Ativo de Germoplasma de Caju da Embrapa Agroindústria Tropical. Destacam-se melhorias na produtividade, qualidade do pedúnculo e peso da amêndoa, bem como resistência a doenças, redução do porte da planta, maior precocidade e prolongamento do período de frutificação. Entre os clones comerciais mais notáveis estão o ‘CCP 06’, ‘CCP 09’, ‘CCP 76’, ‘CCP 1001’, ‘Embrapa 51’ e ‘BRS 226’ (PAIVA et al., 2003).

Os genótipos produzidos pela Embrapa e utilizados nessa pesquisa, como CCP76 (clone comercial), BGC4, BGC98, BGC283, BGC484 e BGC509, são acessos de cajueiros que passaram por um processo de caracterização. Essa caracterização envolveu a avaliação de características da planta e a incidência de doenças (Tabela 1) (EMBRAPA-CNPAT, 2023).

Tabela 1 – Características da planta de distintos acessos de cajueiro e incidência a doenças

Acesso	Origem	Altura (m)	Diâmetro copa (cm)	Diâmetro caule (cm)	Oídio	Antracnose	Mofa preto	Resinose
BGC 098	Aracati	8,3	13,2	49	2	1	0	0
BGC 509	Maranguape	5,1	6,4	27	4	1	0	0
BGC 484	Beberibe	4,2	7,2	58	0	0	0	0
BGC 283	Jijoca	5,0	9,2	73	0	1	1	0
BGC 004	Pacajus	12,0	14,6	75	4	1	0	0

Notas: 0 = ausência de doença; 1 = até 10%; 2 = 11 a 25%; 3 = 26 a 50%; e 4 = acima de 50% de sintomas nas brotações novas, folhas, nos ponteiros e nas inflorescências das plantas.

Os acessos BGC4, BGC 98, BGC 283, BGC 484 e BGC 509 não são cultivares comerciais, porém de forma geral apresentam uma excelente qualidade de frutos, boa

produtividade e adaptação a diferentes condições de cultivo, copas de porte médio a grande, com boa distribuição de ramos, facilitando a colheita dos frutos e sua resistência a doenças também são considerados satisfatória para doenças como oídio, antracnose, morfo preto e resinose (EMBRAPA-CNPAT, 2023).

O cultivar de cajueiro CCP 76 foi obtido em 1979, derivado de plantas da CP 76, que por sua vez originou-se de plantas da CP 06, sendo apenas disponibilizado para cultivo comercial em 1983. Aos seis anos de idade apresenta as seguintes características: altura média de 2,68 m, 4,98 m de diâmetro da copa e massa média da castanha de 8,60 g e peso médio do pedúnculo de 135g com cor laranja (PAIVA; BARROS, 2004; LIMA, 2008).

Na Tabela 2, fica evidenciado as características do fruto e pedúnculo, tal como sua produtividade e qualidade de cinco acessos do BAG-Caju, destaque para o BGC 484 com maior massa da castanha com 16,3 g, a BGC 283 apresentando 150,3 g para massa do caju e cores do pedúnculo variando de amarelo/laranja.

Tabela 2 – Características morfológicas do fruto e pedúnculo de diferentes acessos de cajueiro

Acesso	Diâmetro apical	Diâmetro basal	Comp.	Massa Total	Massa da castanha	Massa do caju	COR pedúnculo	Forma pedúnculo
BGC 098	27,60	38,79	69,49	59,22	7,18	52,04	Amarelo	Cilíndrico Linear
BGC 509	38,04	52,27	79,35	126,25	7,93	118,31	Laranja	Cilíndrico Oblongo
BGC 484	48,14	53,35	55,97	110,64	16,30	94,34	Amarelo	Redondo Cônico
BGC 283	50,70	61,7	75,0	158,20	7,80	150,3	Amarelo	Obovado Cônico
BGC 004	37,27	50,24	87,82	123,14	10,41	112,73	Amarelo	Obovado Cônico

Fonte: Análise realizada pela Embrapa-CNPAT, Fortaleza - Ceará.

Atualmente, a Embrapa é reconhecida como uma instituição participante ativa na pesquisa brasileira, desempenhando um papel essencial no estudo e na preservação da biodiversidade vegetal. O BAG-Caju é uma ferramenta-chave nessa atividade, pois abriga uma ampla diversidade genética de acessos de cajueiro coletados em todo o país, sendo considerado um recurso valioso que pode proporcionar inúmeros novos ensaios sobre melhoramento genético, resistência a pragas e doenças, além de adaptações a diversas condições ambientais (LIMA et al. 2012).

A caracterização dos acessos de forma detalhada que estão depositados em um banco de germoplasma se torna vital para entender e explorar o pleno potencial genético das

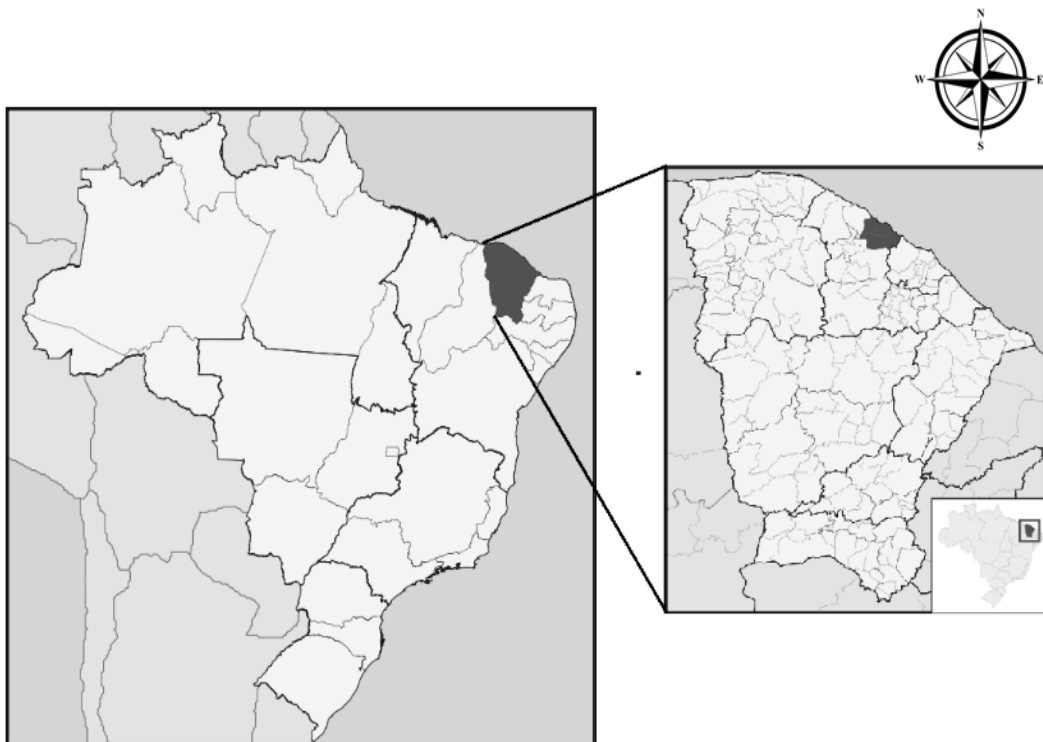
variedades de cajueiro e, sobretudo, muitos desses materiais apresentam características de grande interesse econômico, como resistência a estresses ambientais, qualidade dos frutos e alta produtividade (LINHARES, 2019). Portanto, dedicar recursos à caracterização dessas variedades não apenas estimula a pesquisa e o desenvolvimento agrícola, mas também fortalece o setor da cajucultura brasileira, resultando em benefícios econômicos mais significativos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi realizado em ambiente protegido (telado) na área experimental da Embrapa Agroindústria Tropical, no município de Fortaleza, Ceará, Brasil ($3^{\circ} 43' S$; $38^{\circ} 32' W$ e 19,6 m de altitude), no primeiro semestre de 2023. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw' (clima tropical chuvoso), bem como apresenta-se como quente e subúmido, com temperatura média de $26,7^{\circ} C$ e precipitação média anual de 1042 mm (CLIMATE DATE, 2022).

Figura 1 - Localização do município de Fortaleza, Ceará, Brasil



Fonte: autora (2023).

O solo utilizado no experimento foi coletado no Campo Experimental de Pacajus e classificado como Neossolo Quartzarênico, com os seguintes atributos na época de implantação do experimento descritos na (Tabela 3).

Tabela 3 - Atributos químicos do solo utilizado no cultivo das plantas no experimento – Fortaleza, Ceará, 2023.

Atributos	Amostra
pH H ₂ O	5,6
SB (mmol _c dm ⁻³)	62
CTC (%)	97
V (%)	64
MO (g/kg ⁻³)	18
H + Al (mmol _c dm ⁻³)	35
Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)	0,0
P (mg dm ⁻³)	40
K ⁺ (mmol _c dm ⁻³)	1,1
Ca ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	44
Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	13
Na ⁺ (mmol _c dm ⁻³)	4
Cu (mg dm ⁻³)	0,8
Fe (mg dm ⁻³)	45,9
Mn (mg dm ⁻³)	12,4
Zn (mg dm ⁻³)	3,7

Fonte: autora (2023).

A água utilizada na irrigação das plantas foi avaliada periodicamente e classificada como C2-S1 (C2 – Água com salinidade média (CE entre 0,25 e 0,75 dS/m, a 25 °C) e S1 – Água com baixa concentração de sódio (RAS \leq 32,19 – 4,44 log CE) (Tabela 4).

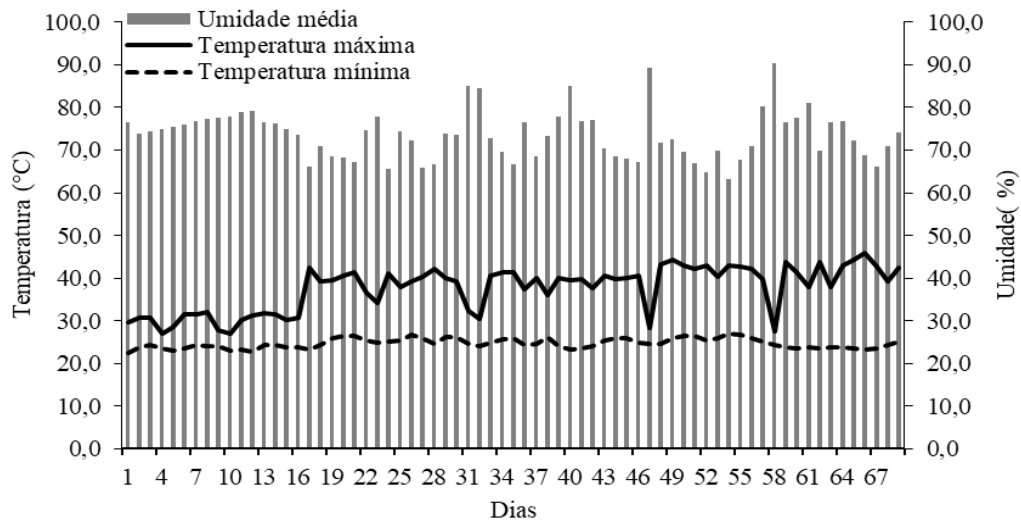
Tabela 4 – Análise da água de irrigação utilizada nos tratamentos das plantas durante o experimento – Fortaleza, Ceará, 2023

Data de Coleta	pH	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Soma de Cátions	Cl ⁻	Soma de ânions	RAS	Classificação
15/03/2023	5,0	0,346	0,6	0,9	0,1	1,5	3,1	1,9	1,9	1,8	C2S1
20/03/2023	5,3	0,370	0,6	0,9	0,1	1,6	3,2	3,0	3,0	1,8	C2S1
27/03/2023	5,6	0,366	0,6	0,9	0,1	1,6	3,2	2,3	2,3	1,9	C2S1

Fonte: autora (2023).

Durante a condução do experimento, as condições meteorológicas foram monitoradas dentro do telado por um data-logger da marca Instrutherm (modelo HT-500), que coletava dados de temperatura e umidade relativa do ar a cada 1 hora (Figura 2). A temperatura e a umidade relativa do ar média dos meses do experimento foram de 30 °C e 70%, respectivamente.

Figura 2 - Dados de temperatura média mínima e máxima e umidade relativa do ar dentro da casa de vegetação durante o período experimental (2023)



Fonte: autora (2023).

4.2 Obtenção das mudas enxertadas

Para produção das mudas foi utilizado como porta-enxerto a cultivar CCP 06. As sementes foram postas para germinar em tubetes de polipropileno com capacidade de 288 mL, preenchidos com substrato comercial, colocando-se uma semente por recipiente e irrigadas diariamente. Cerca de 45 dias após o plantio (DAP) foi feito o processo de enxertia do tipo de garfagem em fenda.

Figura 3 – Mudanças de cajueiro enxertadas em Pacajus – Ceará



Fonte: autora (2023).

Os enxertos consistiram de cinco acessos de *Anacardium occidentale*, do BAG-Caju e uma cultivar comercial, sendo eles: BGC 4, BGC 98, BGC 283, BGC 484, BGC 509 e CCP 76. Os propágulos foram coletados de plantas adultas, no BAG-Caju, no Campo Experimental da Embrapa Agroindústria Tropical, em Pacajus, Ceará.

Após enxertadas, as mudas foram mantidas em viveiro e irrigadas diariamente na capacidade de campo, de forma manual, durante 60 dias. Nesse período, as plântulas receberam os cuidados recomendados pelo Sistema de Produção de Mudas de Caju, da Embrapa (CNPAT, 1995).

Logo depois do período de aclimação, as mudas foram transferidas para a Sede da Embrapa em Fortaleza, colocadas em ambiente protegido e feito o transplântio para sacos de polietileno (15x25cm) com capacidade de 1,49 L contendo o solo já descrito anteriormente.

4.3 Implantação e disposição dos tratamentos

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial (6 x 4), onde o primeiro fator representa seis genótipos de cajueiro (CCP76, BGC4, BGC98, BGC283, BGC484 e BGC509) e o segundo os níveis de capacidades máximas de retenção de água no solo, sendo elas: 100% (controle), 80%, 60% e 40% do tratamento controle. Cada tratamento foi composto por 4 repetições com 4 plantas cada. As seis plantas consistiram em uma parcela experimental (Figura 4).

Figura 4 - Croqui do experimento com genótipos, tratamentos e blocos

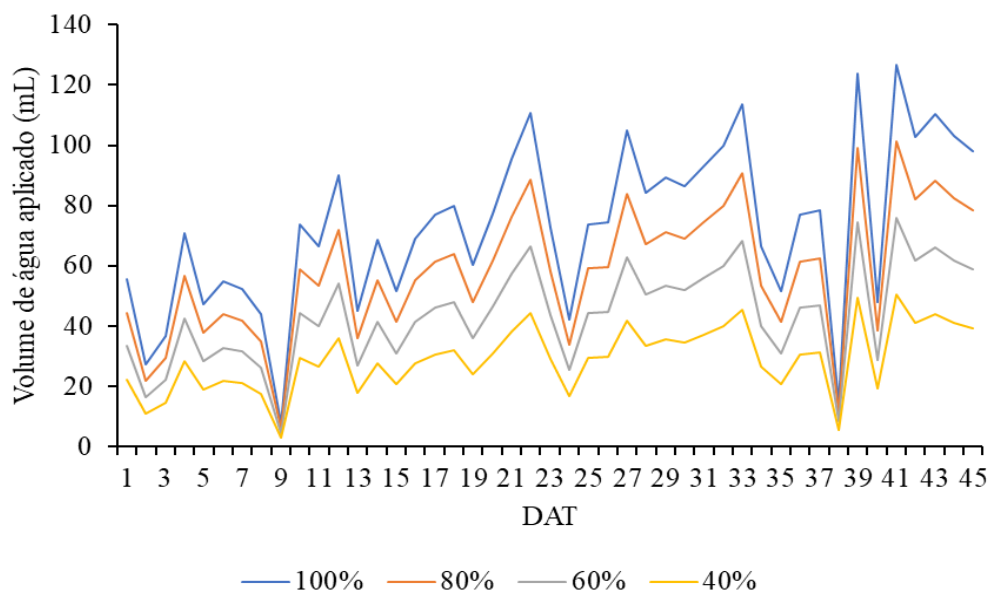


Fonte: autora (2023).

Então, 30 dias após o plantio (DAP) para os sacos, as mudas foram submetidas aos tratamentos de estresse hídrico. Inicialmente todas as mudas foram irrigadas até que a água saísse pelos orifícios de drenagem dos sacos. Em seguida, esperou-se a completa drenagem do excesso de água e procedeu-se a pesagem de seis plantas controle (capacidade máxima de retenção de água), que foi utilizada como referência.

A cada dia os sacos com as plantas controle eram pesados e repostos a quantidade de água para o peso inicial saturado (100% da capacidade máxima de retenção de água). Os demais tratamentos (80%, 60% 40%) foram calculados diariamente levando-se em consideração a quantidade de água aplicada nas plantas controle, usando uma planilha eletrônica (Excel).

Figura 5 - Volume aplicado de água em cada tratamento (mL) ao longo do experimento



Fonte: autora (2023).

4.4 Manejo das plantas

No manejo das plantas foi realizado o controle manual das ervas-daninhas de forma manual, bem como o controle fitossanitário foi realizado sempre que necessário, conforme recomendações da Embrapa (EMBRAPA-CNPAT, 1995).

O controle de pragas e doenças foi realizado por meio de pulverização à base de óleo mineral e detergente neutro. As plantas receberam adubação com um composto mineral comercial (*Restorer H*), de acordo com a necessidade indicada pelo fabricante, para a referida

cultura. O composto foi aplicado no solo, via sistema radicular de cada planta, com frequência de uma vez por semana, totalizando sete aplicações ao longo do experimento.

4.5 Variáveis analisadas

4.5.1 Variáveis de crescimento não destrutivas

As avaliações foram conduzidas no início dos tratamentos (dia 0) e subsequentemente aos 15, 30 e 45 dias após o início para as variáveis de crescimento não destrutivas. A altura das plantas (AP, cm) foi medida utilizando uma régua graduada (Figura 5A), o diâmetro do colo das plantas (DP, mm) (Figura 5B) foi mensurado com paquímetro digital e número de folhas (NF) por contagem direta de folhas totalmente expandidas.

Figura 6 – Mensuração da altura da planta (A) e diâmetro do colo (B) em mudas de cajueiro



Fonte: autora (2023).

4.5.2 Trocas gasosas

As trocas gasosas foliares foram realizadas nos dias 0, 15, 30 e 45 após o início da aplicação dos tratamentos (DAT). As variáveis fisiológicas mensuradas foram taxa de

fotossíntese líquida (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-1} \text{ s}^{-1}$) utilizando-se um analisador portátil de gás no infravermelho – IRGA (modelo LCI, ADC, BioScientific, Inglaterra).

As leituras foram realizadas no período de 8:00 às 11:00 horas da manhã, em uma folha madura e completamente expandida, usando uma fonte de luz artificial com intensidade de $1200 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, temperatura, umidade e CO_2 ambientes.

Figura 7 - Medição de trocas gasosas foliares (A , g_s e E) em gen\u00f3tipos de cajueiro submetidos a aplica\u00e7\u00e3o de diferentes capacidades m\u00e1ximas de reten\u00e7\u00e3o de \u00e1gua no solo (40, 60, 80 e 100%)



Fonte: autora (2023).

4.5.3 Vari\u00e1veis de crescimento destrutivas

As an\u00e1lises destrutivas foram conduzidas aos 45 dias ap\u00f3s o in\u00edcio da aplica\u00e7\u00e3o dos tratamentos (DAT), onde foram registradas as massas frescas e seca de raiz (MSR), folhas (MSF) e caule (MSC). Para obter a massa seca, as amostras foram coletadas e posteriormente secas em estufa de circula\u00e7\u00e3o for\u00e7ada de ar at\u00e9 que ocorresse toda a retirada da umidade e o peso se mantivesse constante. As massas foram determinadas por meio de uma balan\u00e7a anal\u00edtica.

Além das massas, se mensurou a área foliar (AF) com um medidor de área foliar tipo LI-3000, LiCor, Inc.

4.5.4 Carboidratos solúveis totais

Para quantificar os carboidratos solúveis totais, foram coletadas amostras de folhas, raízes e caules de cada planta. Posteriormente, as amostras foram armazenadas em sacos de papel e identificados individualmente e submetidas a secagem em estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 60 °C por 72 horas. Em seguida, as amostras foram trituradas em moinho analítico (Moinho Analítico IKA A11) até se obter um pó.

Após a trituração, 0,5 g do material seco foi transferido para tubos de ensaio e diluído em 25 mL de água deionizada. Os tubos contendo as amostras (material triturado e água) foram então agitados em um agitador do tipo sheik por duas horas, seguido da filtragem da solução utilizando de papel filtro qualitativo para obtenção dos extratos. Os extratos foram refrigerados até a realização das análises.

A determinação dos carboidratos foi conduzida seguindo a metodologia de Dubois *et al* (1956), utilizando uma solução de fenol a 5% e ácido sulfúrico. As leituras das amostras foram realizadas em um espectrofotômetro, com uma absorbância medida em 490 nm. Uma curva padrão da concentração de carboidratos solúveis foi estabelecida utilizando glicose como padrão, bem como através da equação de regressão linear adquirida pela curva padrão, o teor de carboidratos solúveis totais foi calculado e expresso em mg glicose g⁻¹MS.

4.5.5 Taxa de sobrevivência das plantas

A taxa de sobrevivência das plantas foi calculada usando a seguinte fórmula:

$$\text{Taxa de sobrevivência} = \left(\frac{\text{Número de Plantas Sobreviventes}}{\text{Número Inicial de Plantas}} \right) \times 100$$

Para calcular a taxa de sobrevivência, foi necessário utilizar o número inicial de plantas (o total de plantas no início do experimento) e o número de plantas que sobreviveram até o final do período do experimento.

4.6 Análises estatísticas

Inicialmente, os dados coletados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F. Para as variáveis qualitativas que demonstraram diferenças significativas, foi realizada a comparação das médias através do teste de Tukey ($p \leq 0,05$), enquanto as variáveis quantitativas foram sujeitas à construção de curvas de regressão, as quais foram então analisadas quanto à sua significância. Todas as análises foram conduzidas utilizando o programa de análise estatística SISVAR, na sua versão 5.6.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Trocas gasosas

As trocas gasosas foram influenciadas pela capacidade máxima de retenção de água (CMRA) no solo empregados aos 15, 30 e 45 DAT, com exceção da transpiração foliar (*E*) aos 45 DAT (Tabela 5). Já os genótipos não influenciaram significativamente ($p \leq 0,05$) os parâmetros de trocas gasosas. Não houve interação entre os fatores nos 15 e 45 DAT, enquanto aos 30 DAT a variável *gs* (condutância estomática) apresentou interação entre os fatores.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância e valores médios para fotossíntese líquida (*A*), transpiração foliar (*E*) e a condutância estomática (*gs*) de diferentes genótipos de cajueiro, submetidos a diferentes tipos níveis de capacidades máximas de retenção de água (CMRA) no solo (40%, 60%, 80% e 100%), aos 15, 30 e 45 após o tratamento (DAT)

Fonte de variação	Quadrados médios			
	GL	15 DAT		
		<i>A</i>	<i>E</i>	<i>gs</i>
Blocos	3	6,12 ^{ns}	6,63 ^{**}	0,036 ^{ns}
CMRA	3	298,95 ^{**}	30,65 ^{**}	0,480 ^{**}
Genótipo (G)	5	21,46 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,021 ^{ns}
CMRA x G	15	8,57 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,012 ^{ns}
Resíduo	69	10,24	0,68	0,015
Total	95	1858,10	167,63	2,888
CV (%)	-	27,97	26,55	52,3
		30 DAT		
Blocos	3	87,38 ^{**}	0,74 ^{ns}	0,084 ^{**}
CMRA	3	246,74 ^{**}	23,46 ^{**}	0,205 ^{**}
Genótipo (G)	5	10,24 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,005 ^{ns}
CMRA x G	15	10,01 ^{ns}	1,21 ^{ns}	0,010 [*]
Resíduo	69	10,80	0,96	0,005
Total	95	1949,20	159,83	1,437
CV (%)	-	29,73	29,18	43,58
		45 DAT		
Blocos	3	5,05 ^{ns}	5,45 ^{**}	0,003 ^{ns}
CMRA	3	26,93 [*]	1,67 ^{ns}	0,017 [*]
Genótipo (G)	5	5,63 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,004 ^{ns}
CMRA x G	15	5,64 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,002 ^{ns}
Resíduo	69	7,93	0,70	0,005
Total	95	756,22	78,46	0,515
CV (%)	-	25,72	25,98	45,28

CMRA - Capacidade máxima de retenção de água no solo, *A* - Fotossíntese líquida ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), *gs* -

condutância estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e E - transpiração foliar ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; ^{ns} não significativo; ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Aos 15 DAT os valores da fotossíntese líquida (A) foram reduzidos linearmente com a redução da capacidade de retenção de água do solo, com os tratamentos de 100% e 40%, apresentando 15,43 e 6,93 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente. Ao se comparar essas duas capacidades de retenção, se verifica uma redução de 55,10% da fotossíntese líquida (Figura 8A).

Bezerra et al. (2007), ao examinarem a taxa fotossintética de cajueiros anões em fase vegetativa, tanto em condições de irrigação quanto em cultivo de sequeiro, corroboraram com os resultados encontrados nesta pesquisa, observando que a diminuição da irrigação resultou em reduções na taxa fotossintética das plantas avaliadas. Da mesma forma, Lima (2014) ao investigar as trocas gasosas em cajueiros anões sob dois regimes hídricos (RH), encontrou os maiores valores de 14,22 $\mu\text{mol.m}^{-2} \text{s}^{-1}$, para o cultivo irrigado e 12,95 $\mu\text{mol.m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o cultivo em sequeiro.

Para a transpiração foliar (E) aos 15DAT, a redução também foi linear com a capacidade de retenção de água no solo e os maiores valores foram evidenciados no tratamento de 100% (4,25 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e o menor para o nível de 40% (1,59 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Figura 8B). Houve uma redução de 62,40% da transpiração foliar (E) do maior nível de capacidade máxima de retenção de água para menor.

Nascimento (2010), ao examinar a transpiração das folhas do cajueiro anão da cultivar CCP76, registrou uma média de transpiração de 6,0 $\text{mmol.m}^{-2} \text{s}^{-1}$, um valor superior ao encontrado neste estudo (3,10 $\text{mmol.m}^{-2} \text{s}^{-1}$). De maneira semelhante, Amorim *et al.* (2011) e Lima *et al.* (2010) avaliaram a transpiração foliar de cajueiro anão, tanto em condições de sequeiro quanto em irrigação, observaram que as plantas não irrigadas obtiveram uma redução nessa variável fisiológica, bem como as médias de transpiração foram próximas às apresentadas neste estudo em suas publicações.

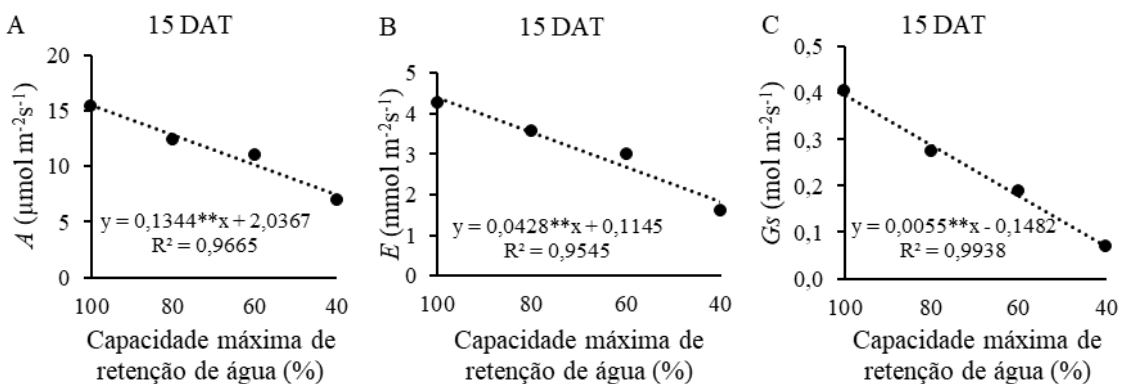
O mesmo comportamento de redução linear com a diminuição capacidade de retenção foi observado para condutância estomática (g_s), sendo apresentado na capacidade de 100% uma g_s de 0,405 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e o menor valor para a de 40% (0,070 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Figura 8C). Aqui, considerando-se o controle e o menor nível de capacidade, houve diminuição de 82,71%, sendo o parâmetro de trocas gasosas, dentro das outras variáveis analisadas, o mais fortemente afetado.

Observa-se uma redução mais notável na condutância estomática (g_s) em

comparação com a taxa de fotossíntese líquida (A). A ampla oscilação na condutância estomática, observada entre os tratamentos do maior tratamento (100%) e o menor tratamento (40%), sem uma correspondente variação na fotossíntese durante o período analisado, pode sugerir, em conformação com o trabalho de Lima (2014), uma tendência semelhante, que pressupõem um aumento na eficiência intrínseca do uso da água, indicando uma adaptação do cajueiro à limitação hídrica.

As plantas sofreram deficiência hídrica, uma vez que o fechamento estomático é um dos primeiros processos a serem afetados pelo déficit hídrico em plantas, prejudicando afetivamente a taxa de assimilação líquida de CO_2 (LIMA et al., 2010).

Figura 8 – Análise de regressão da fotossíntese líquida (A) (A), transpiração foliar (E) (B) e condutância estomática (g_s) (C) aos 15 DAT em diferentes genótipos de cajueiro em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%)



Fonte: autora (2023).

O comportamento das trocas gasosas aos 30 DAT foi bastante semelhante ao observado aos 15DAT. A fotossíntese líquida (A) foi reduzida linearmente com a diminuição da água no solo, apresentando os valores para os tratamentos de 100% e 40% de 14,56 e 7,01 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente (Figura 9A).

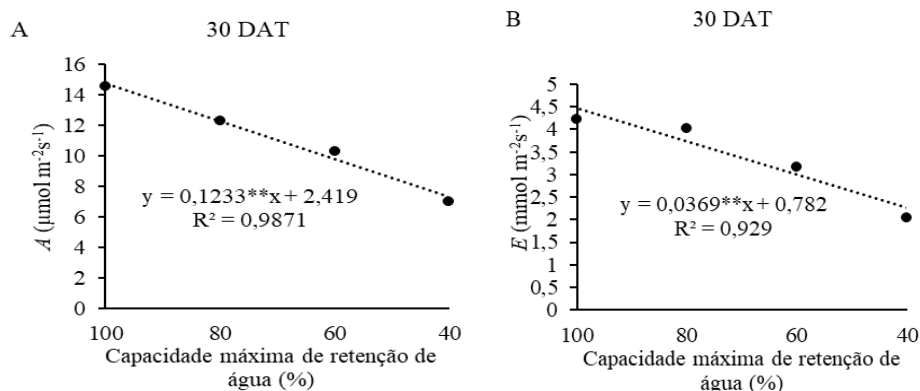
Nascimento (2010) realizou um estudo comparativo entre o clone CCP76 e o BRS 189, indicou resultados estatisticamente semelhantes, independente do tratamento hídrico aplicado, mantendo uma média anual de 14,97 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$, assim como para Pizarro (2006) e Souza et al., (2005), essa média de fotossíntese líquida também foi relatada de forma similar em plântulas e plantas adultas de cajueiro anão.

Na avaliação da taxa de transpiração foliar (E), se observou decréscimo linear dessa variável com a diminuição da água no solo, com os maiores valores de capacidade máxima de retenção de água (100%) com 4,23 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e os menores para 40% de 2,03

$\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 9B).

Simões *et al.* (2015), estudando a produtividade e qualidade da mangueira ‘Kent’ (*Mangifera indica* L.), submeteu a diferentes lâminas de irrigação, obtendo a estimativa de maior transpiração no valor de $1,65 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para uma lâmina de 71,58% da ETc. Da mesma forma que Faria *et al.* (2016) investigaram os efeitos de diferentes estratégias de déficit hídrico durante a fase de indução floral de mangueiras 'Tommy Atkins', também notaram uma diminuição nas taxas de transpiração foliar (E) e fotossíntese líquida (A), à medida que as quantidades de água de irrigação foram reduzidas, o que está em consonância com os achados deste estudo.

Figura 9 – Análise de regressão da fotossíntese líquida (A) (A) e transpiração foliar (E) (B) aos 30 DAT em diferentes genótipos de cajueiro em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%)



Fonte: autora (2023).

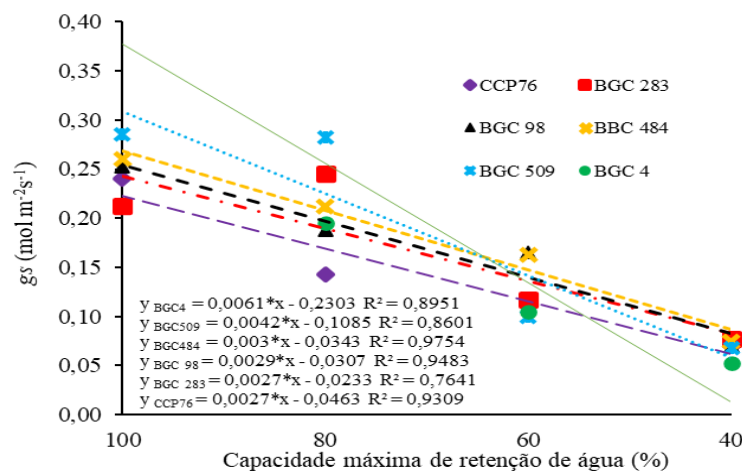
A condutância estomática (g_s) decresceu linearmente com a diminuição da capacidade máxima de retenção de água no solo, sendo que aqui a taxa de redução foi dependente do genótipo. Os genótipos BCG 4, seguido do BCG 509 foram os mais afetados pela redução da água no solo (Figura 10).

A variação entre genótipos em uma determinada espécie de planta pode resultar em diferenças na resposta da condutância estomática à umidade do solo, com alguns genótipos sendo mais sensíveis ou capazes de ajustar sua (g_s) de forma mais eficiente em resposta às condições de umidade do solo (FANOURLAKIS *et al.*, 2015).

Quando se compara as capacidades de retenção 100% e de 40%, se constata uma redução de 51,85% da fotossíntese líquida (A), de 51,53% da transpiração foliar (E) e 75,62% na condutância estomática (g_s) média.

Taiz *et al.* (2017) citam que o fechamento estomático como uma das respostas imediatas e mais expressiva que ocorrem em plantas submetidas a estresses que afetam seu estado hídrico, bem como quando os estômatos estão fechados, a condutância estomática (g_s) diminui, limitando a troca gasosa e reduzindo tanto a entrada de CO_2 quanto a perda de água. Portanto, o fechamento estomático tem um papel importante na regulação da fotossíntese líquida (A), transpiração foliar (E) e condutância estomática (g_s) das plantas, desempenhando uma função vital no processo de adaptação das plantas a condições ambientais adversas, como estresse hídrico (TAIZ *et al.*, 2017).

Figura 10 – Análise de regressão da condutância estomática (g_s) aos 30 DAT em diferentes genótipos de cajueiro em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%)



Fonte: autora (2023).

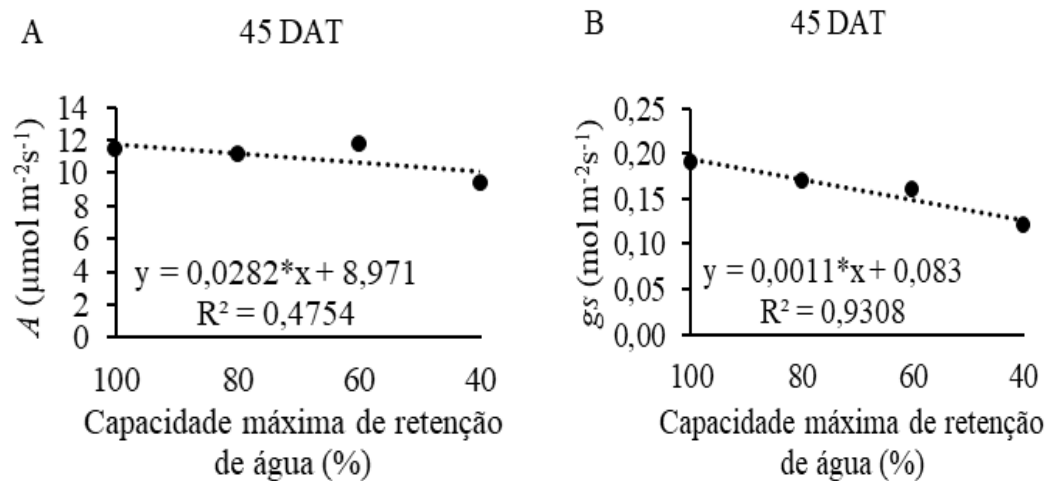
Lima *et al.* (2014) enfatizam a importância de compreender as trocas gasosas em cajueiros sob condições de estresse hídrico, disponibilizando conhecimentos relevantes para o manejo adequado dessa cultura em áreas com limitações de água.

Aos 45 DAT a redução na água aplicada ano solo afetou as trocas gasosas de maneira menos drástica que nas avaliações anteriores. Ao se comparar os valores da fotossíntese líquida (A) foram constatados uma queda da taxa fotossintética de 18,05%, enquanto nas avaliações anteriores essa queda era na fixa de 50%. Nos tratamentos de 100% e 40% as fotossínteses foram de 11,47 e 9,40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente (Figura 11A).

Na avaliação da condutância estomática (g_s), foram evidenciados o maior valor para capacidade de retenção de 100% (0,19 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e o menor de 40% (0,12 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), com uma redução linear e total de cerca de 36% (Figura 11B). Por outro lado, a taxa

transpiratória não foi significativamente afetada pela redução da capacidade máxima de retenção de água do solo, dentro dos níveis analisados.

Figura 11 – Análise de regressão da fotossíntese líquida (A) (A) e condutância estomática (g_s) (B) aos 45 DAT em diferentes genótipos de cajueiro em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%)



Fonte: autora (2023).

A falta de significância na transpiração foliar aos 45 dias no experimento pode ter sido influenciada pelas condições climáticas e/ou pelo alcance de um estágio de desenvolvimento em que a taxa de transpiração foliar reduz espontaneamente, conforme as plantas amadurecem e diminuem sua demanda por água. Esses resultados corroboram com as investigações realizadas no trabalho de Silva et al. (2018).

As trocas gasosas tem um papel essencial no desempenho fisiológico das plantas, incluindo os cajueiros e essa tendência de aclimação ao déficit hídrico ao longo do seu crescimento, parece ser uma estratégia desempenhada pela espécie para sobreviver em ambientes com pouca disponibilidade de água. Certamente vários mecanismos de tolerância devem ter sido acionados para permitir manter um nível basal de trocas gasosas mesmo em condições de estresse hídrico (SANTOS et al., 2020).

Fanourakis et al. (2015) afirma que em ambientes onde a água está amplamente disponível, as plantas tendem a apresentar uma condutância estomática mais elevada, resultando em uma taxa de transpiração mais alta. Isso ocorre devido à capacidade das plantas de tolerar uma maior perda de água por transpiração, visto que há uma fonte abundante para substituí-la. Essa taxa aumentada de transpiração também está associada a uma maior taxa de fotossíntese, porque a transpiração auxilia na manutenção da abertura dos estômatos,

permitindo a entrada do dióxido de carbono necessário para o processo fotossintético.

5.2 Análises de crescimento

Houve influência significativa ($p < 0,05$) dos genótipos para altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e número de folhas (NF), tanto aos 15DAT, quanto aos 30 DAT e aos 45 DAT. Para o fator capacidade máxima de retenção de água (CMRA) no solo, todas as variáveis analisadas (AP, DC e NF) foram afetadas aos 30 e 45 DAT. Foi ainda observado interação significativa (CMRA x genótipo) aos 15 e 30 DAT para o número de folhas (Tabela 6).

Tabela 6 – Resumo da análise de variância e valores médios para a altura da planta (AP), diâmetro do colo (DC) e do número de folhas (NF) de diferentes genótipos de cajueiro, submetidos a diferentes tipos níveis de capacidades máximas de retenção de água (CMRA) no solo (40%, 60%, 80% e 100%), aos 15, 30 e 45 após o tratamento (DAT).

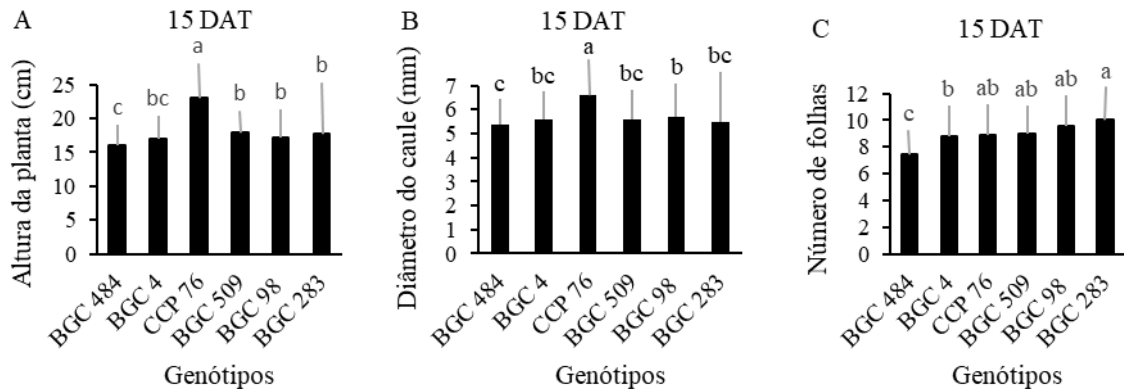
Fonte de variação	Quadrados médios			
	15 DAT			
	GL	AP	DC	NF
Blocos	3	51,97**	2,23*	26,30**
CMRA	3	2,82 ^{ns}	0,63 ^{ns}	10,53 ^{ns}
Genótipo (G)	5	394,08**	12,77**	48,04**
CMRA x G	15	6,62 ^{ns}	0,63 ^{ns}	8,28*
Resíduo	357	4,64	0,40	4,88
Total	383	3892,61	227,01	2219,73
CV (%)	-	11,87	11,13	24,63
30 DAT				
Blocos	3	26,02**	11,28*	9,54 ^{ns}
CMRA	3	25,62**	2,71**	89,89**
Genótipo (G)	5	375,52**	11,25**	74,80**
CMRA x G	15	6,08 ^{ns}	0,32 ^{ns}	7,36*
Resíduo	357	4,46	0,39	4,01
Total	383	3717,64	212,79	2216,15
CV (%)	-	11,23	10,63	20,65
45 DAT				
Blocos	3	5,47*	0,11 ^{ns}	4,59*
CMRA	3	18,60**	1,11**	45,95**
Genótipo (G)	5	98,94**	2,39**	17,33**
CMRA x G	15	2,11 ^{ns}	0,13 ^{ns}	1,77 ^{ns}
Resíduo	357	1,83	0,09	1,59
Total	383	725,31	24,25	374,81
CV (%)	-	6,91	5,16	12,62

CMRA - Capacidade máxima de retenção de água no solo, AP – Altura da planta (cm), DC - Diâmetro Caulinar

(mm) e NF – Número de Folhas (NF). FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; ^{ns} não significativo; ^{**} e ^{*} significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Na avaliação da altura das plantas aos 15 DAT, o clone CCP 76 se destacou e os clones BGC 484 e BGC 4 apresentaram menor valores (Figura 12 A). Da mesma maneira, o DC foi maior para o CCP 76, enquanto praticamente não houve diferença entre os demais (Figura 12 B). O número de folhas foi diferenciado entre os clones, com influência da capacidade máxima de retenção de água no solo, bem como os maiores valores para número de folhas (NF) foram encontrados no tratamento de 100%, com 12 folhas para o BGC 283 e BGC 98 (Figura 12).

Figura 12 - Altura da planta (AP) (A) e diâmetro do caule (DC) (B) e número de folhas (C) de seis genótipos de cajueiro

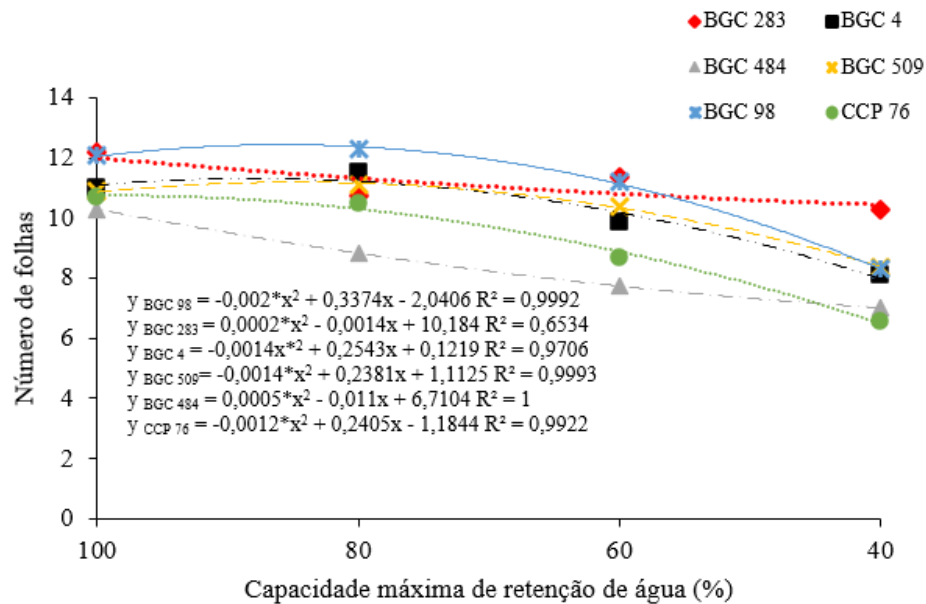


Fonte: autora (2023).

Um estudo realizado por Almeida et al. (2015), avaliou as características morfológicas do cajueiro (*Anacardium occidentale* L) submetido a déficit hídrico na fase de porta-enxerto, bem como evidenciou que as lâminas de irrigação aplicadas (60, 80, 100, 120 e 140 mL) tiveram pouca influência nas características de crescimento das mudas de cajueiro. As mudas foram avaliadas durante 15 e 30 dias após a emergência (DAE), onde para o número de folhas, a lâmina de 120 ml foi a que resultou no maior número de folhas na análise realizada aos 15 DAE. Quanto ao diâmetro do caule, a lâmina de 100 ml apresentou o maior diâmetro, enquanto que para a altura da planta, a lâmina de 140 ml proporcionou a maior altura (ALMEIDA et al., 2015).

O número de folhas foi afetado pela redução na dotação hídrica de maneira diferenciada entre os genótipos. Se observa que o BGC 283, que no tratamento controle já apresentava o maior número de folhas foi o menos afetado pelo déficit hídrico com uma pequena redução (de 12 folhas para 10,5 folhas), enquanto o CCP 76 foi o mais afetado, caindo de 10,9 folhas para 6,5 folhas (Figura 13).

Figura 13 - Análise de regressão do número de folhas (NF) de seis genótipos de cajueiro aos 15 DAT submetidos a diferentes capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%)



Fonte: autora (2023).

Paiva (2018) afirma que uma maneira de avaliar o crescimento das plantas é pela contagem acumulada do número de folhas ao longo do tempo, representando uma medida que traduz o desenvolvimento de uma planta e está diretamente ligada à expansão da área foliar. Essa área foliar é crucial, pois influencia a quantidade de radiação solar captada, que por sua vez é utilizada na fotossíntese pelo dossel do vegetal.

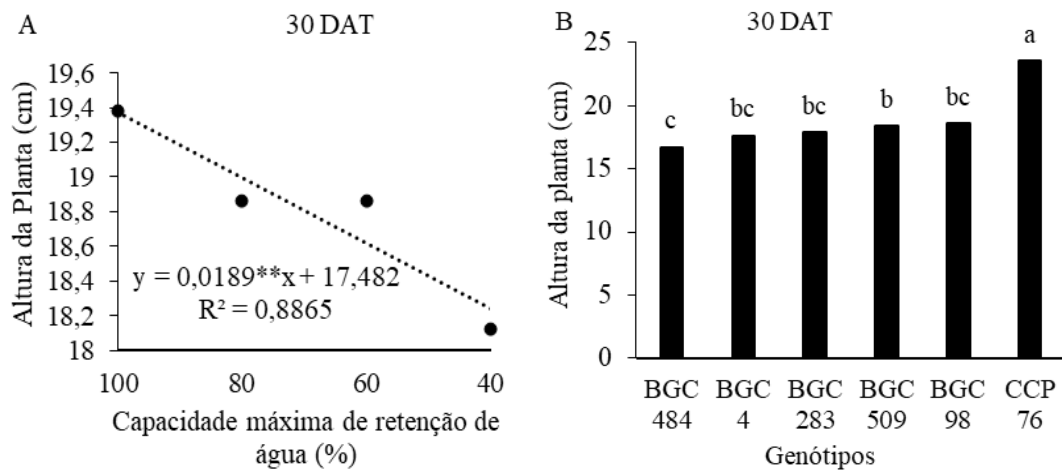
O número de folhas (NF) apresentou uma oscilação ao longo dos tratamentos, resultado esse já esperado, pois os genótipos podem vir a adotar estratégias de sobrevivência quando submetidas a condições adversas diferentes. Um exemplo de estratégia é a redução ou limitação na formação de novas folhas para evitar a perda de água por evapotranspiração, mediante a diminuição da taxa de brotação, aceleração da senescência foliar para conservar água e nutrientes ou alterações hormonais, como as citocininas que estão envolvidas no crescimento e desenvolvimento das folhas, e sobretudo qualquer mudança nos níveis hormonais podem influenciar a formação e o número de folhas (SCHWIDER et al., 2013).

Nas avaliações de crescimentos aos 30 DAT todas as variáveis (NF, AP e DC) foram afetadas pelo genótipo utilizado. As particularidades genótípicas de cada clone devem ser consideradas ao analisar as respostas que eles apresentam, especialmente quando expostos a diferentes tratamentos. Serrano *et al.* (2013), ao estudarem diversos clones de cajueiro, notaram que essas plantas demonstraram variações nas métricas de crescimento, mesmo na

ausência de tratamentos específicos.

Aos 30 DAT os níveis da capacidade máxima de retenção de água no solo também afetaram a altura das plantas (Figura 14A). O genótipo CCP 76 apresentou os maiores valores de altura com média de 23,5 cm e o BGC 484 as menores médias, com valores em torno de 16,7 cm (Figura 14B).

Figura 14 - Análise de regressão da altura da planta (AP) sob capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%) (A) e altura da planta (AP) de seis genótipos de cajueiro aos 30 DAT (B)

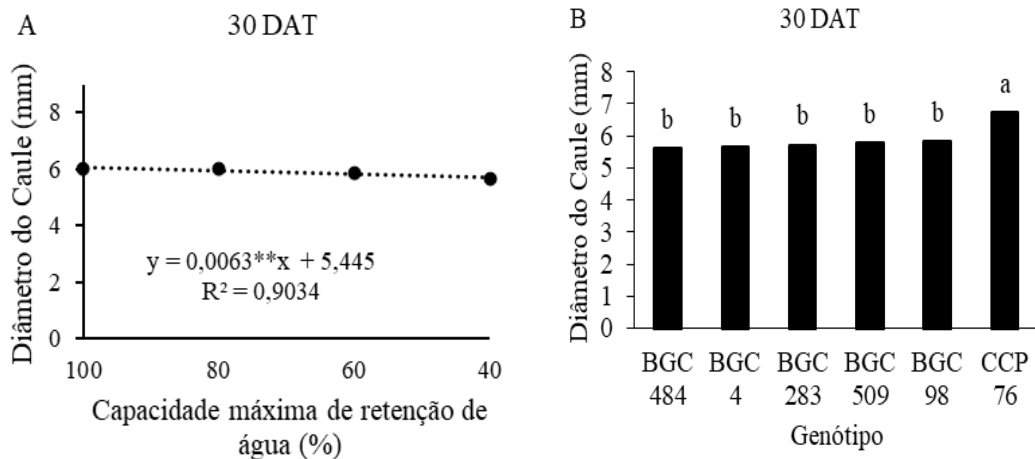


Fonte: autora (2023).

Resultados contrastes foram encontrados por Cavalcanti *et al.* (2022) constataram que as plantas de cajueiro em fase inicial do seu desenvolvimento submetidas a escassez de água apresentaram um crescimento em altura inferior em comparação com as plantas dos demais tratamentos, tendo o grupo submetido ao déficit hídrico um aumento na altura de apenas 76,84%, enquanto as plantas do grupo de controle aumentaram em 104,76% durante o mesmo período inicial.

Por sua vez, no diâmetro do caule (DC) houve uma leve redução (Figura 15A) e quem se destacou também foi o clone CCP76 (6,72 mm), sem, contudo, haver distinção entre os demais genótipos (Figura 15B).

Figura 15 - Análise de regressão do diâmetro do caule (DC) sob capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%) (A) e diâmetro do colo (DC) de seis genótipos de cajueiro aos 30 DAT (B)



Fonte: autora (2023).

Figueiredo *et al.* (2019) conduziram um experimento em ambiente protegido com a produção de mudas de cajueiro utilizando substratos e lâminas de irrigação distintas (50, 75, 100 e 125% da evapotranspiração real - ETr), bem como não foi constatado no diâmetro caulinar influência significativa nos fatores estudados (substratos x lâminas).

Porém, como observado no estudo de Cavalcanti (2007), a redução do fornecimento de água de acordo com o tratamento aplicado entre 90 a 240 dias após o transplantio (DAT), implicou um aumento de cerca de 113,60% no diâmetro do caule ao final desse período, enquanto o aumento médio no diâmetro caulinar para plantas do grupo controle foi de 151,47% e quando comparadas com plantas que receberam lâminas de irrigação com redução no fornecimento de água, o aumento foi ainda mais expressivo (169,23%).

Almeida *et al.* (2015) registraram o diâmetro médio de caule em cajueiros coletadas aos 30 DAE, em função de distintos déficits hídricos, em cerca de 5,47 mm, valor este próximo a média encontrada neste trabalho para o clone controle no mesmo período de avaliação (6,72 mm).

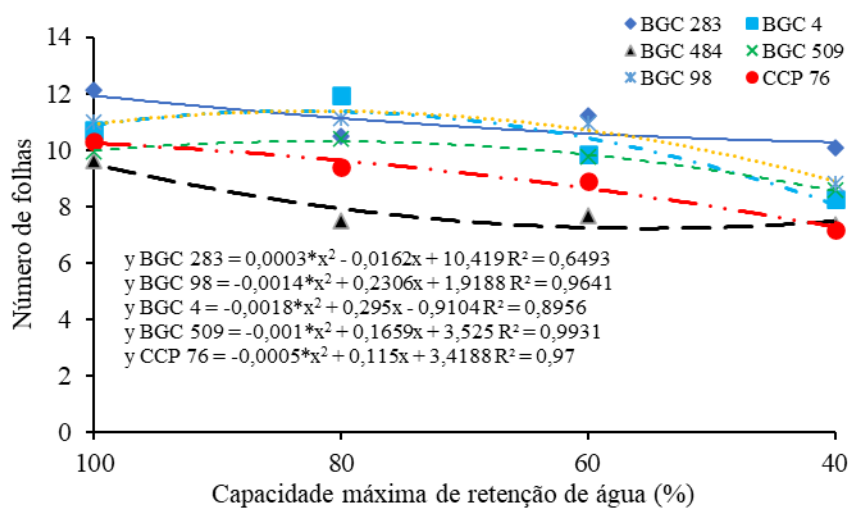
A falta de água pode diminuir a taxa de expansão das células caulinares, restringir a absorção transporte de nutrientes e mudanças hormonais, como a produção de auxinas, que são hormônios vegetais envolvidos no crescimento celular e no desenvolvimento do caule, ou seja, isso poderá resultar em um menor diâmetro do caule em comparação com plantas que recebem uma quantidade adequada de água (TAIZ *et al.*, 2017).

Por fim, o número de folhas foi diferenciado entre os genótipos, em função da capacidade máxima de retenção de água no solo. Assim, como já observado aos 15DAT, os maiores valores para número de folhas (NF) foram encontrados no tratamento de 100%, com 12 folhas para o BGC 283 (Figura 16).

Lima et al. (2023) examinaram como o desenvolvimento inicial de progênies de cajueiro anão precoce foi afetado por vários regimes hídricos, constatando que o fator de disponibilidade de água não teve um impacto significativo no número de folhas.

Por sua vez, nesta pesquisa o número de folhas foi afetado pela capacidade máxima de retenção de água no solo, de maneira diferenciada entre os genótipos. O BGC 283 apresentou menor redução do número de folhas (11,8 para 10,2 folhas de 100% para 40% de umidade), enquanto o CCP 76 foi o mais afetado (redução de 2,7 folhas quando a capacidade retenção do solo foi reduzida de 100% para 40%) (Figura 16).

Figura 16 - Análise de regressão do número de folhas (NF) de seis genótipos de cajueiro aos 30 DAT sob capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%)



Fonte: autora, (2023).

Sousa (2017), ao estudar mudas de cajueiro sob condições de escassez de água, não evidenciou impacto no número de folhas do porta-enxerto de cajueiro CCP 06, com uma média de 11,63 folhas por planta. Em contrapartida, Almeida et al. (2015) analisaram a resposta de planta de cajueiro aos 30 DAE, sob diferentes tratamentos hídricos (mL), onde a menor lâmina 60 mL apresentou o menor número de folhas (8,25 folhas) e a de 100 mL (9 folhas).

Segundo Carr (2014), o estresse hídrico provoca impactos no desenvolvimento e crescimento de uma planta, inclusive interferindo diretamente na sua altura devido à restrição no crescimento celular (a água é um fator primordial na divisão celular e alongação, fatores essenciais para promoção da altura em um vegetal); na diminuição da taxa fotossintética

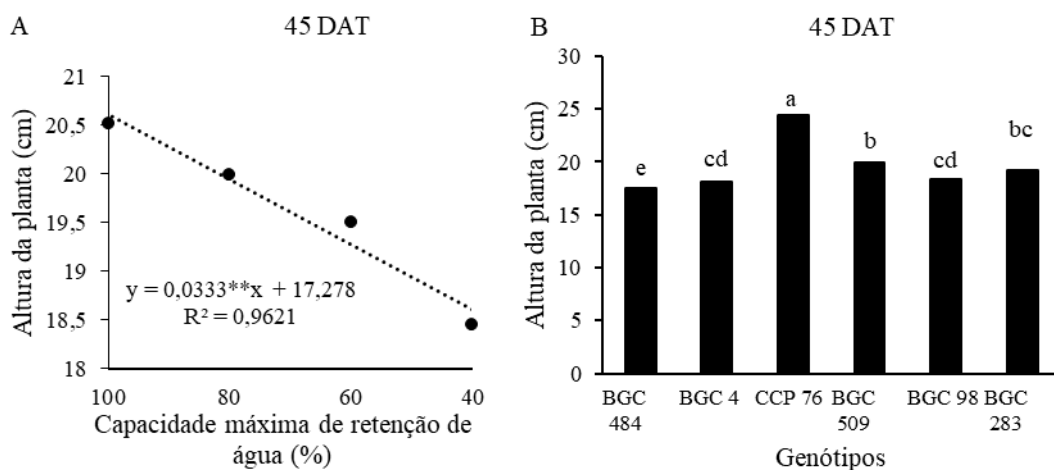
gerada pela indisponibilidade de água, fato que causa uma redução na capacidade da planta em realizar tal processo de forma mais eficiente, pois ela é responsável pela produção de carboidratos, que também são utilizados no crescimento e desenvolvimento da planta.

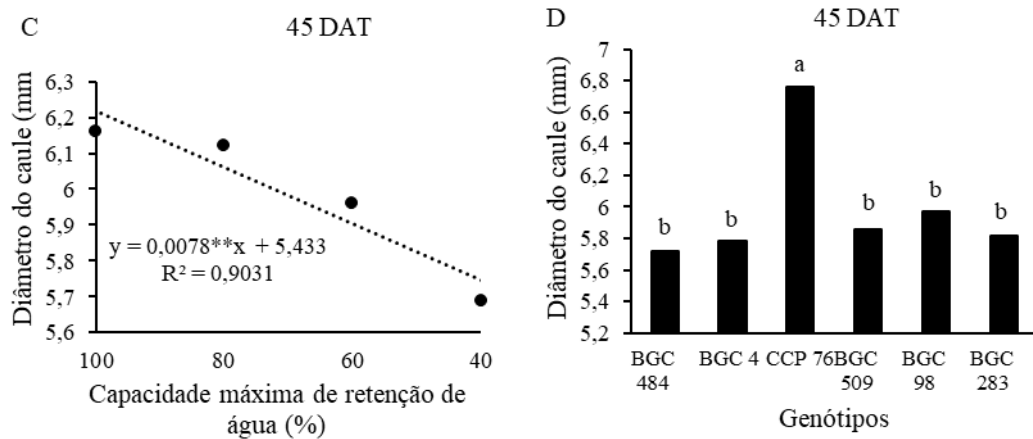
Aos 45 DAT se observa que a altura da planta (Figura 17A) e o diâmetro do caule (Figura 17C) são afetados de acordo com o decréscimo dos níveis da capacidade máxima de retenção de água no solo. O clone CCP76 continua sendo o de maior altura (24,39 cm) (Figura 17B), resultado que se repete para o diâmetro do caule (6,76 mm) (Figura 17D), enquanto o BGC 484 apresentou menor tamanho e não houve distinção entre os demais genótipos com relação ao DC.

De acordo com Leite (2006), o incremento na taxa de crescimento das plantas pode ser afetado pela interação do material genético com as condições do solo e clima, além da nutrição e da disponibilidade de água.

Costa *et al.* (2012), conduziu um experimento sobre o crescimento de mudas de cajueiro anão precoce CCP76 irrigado com efluente doméstico tratado. Os tratamentos aplicados foram: T1 (100% água residual); T2 (75% água residual = AR + 25% água de abastecimento = AA); T3 (50% AR + 50% AA); T4 (25% AR + 75% AA) e T5 (100% de água de abastecimento AA). As variáveis de crescimento: diâmetro do caule, altura da planta e número de folhas não foram influenciadas negativamente.

Figura 17 – Análise de regressão da altura de plantas (AP) (A) e do diâmetro do caule (C) sob capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%) e altura da planta (AP) (B) e diâmetro do caule (DC) de seis genótipos de cajueiro aos 45 DAT (D)





Fonte: autora (2023).

Resultados similares foram observados por Serrano *et al.* (2013) durante a fase vegetativa de cajueiros, onde um desenvolvimento notavelmente lento foi constatado, destacando a importância da água no estágio inicial de crescimento. De acordo com Taiz *et al.* (2017), a diminuição da turgescência causada pelo déficit hídrico tem um impacto direto no crescimento da planta, reduzindo a taxa de crescimento, ou seja, causando redução na altura da planta e no diâmetro do caule. Larcher (2000) destaca que a deficiência hídrica inibe a extensão celular, uma vez que a pressão de turgescência se torna inadequada, impedindo a célula de alcançar seu tamanho máximo potencial.

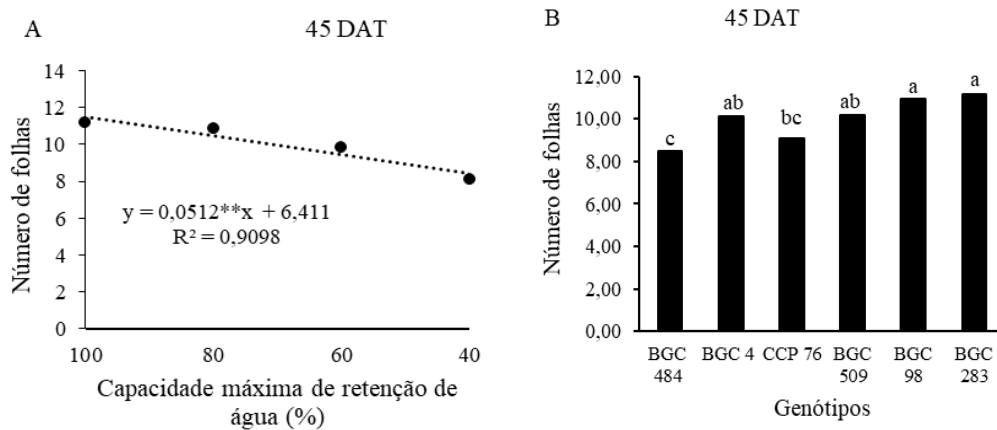
Rossini (2008) ao estudar o estresse hídrico em diferentes fases fenológicas do cajueiro anão no segundo ano de produção, identificou que as plantas submetidas aos tratamentos não foram encontradas diferenças significativas na altura. Contudo, o diâmetro do caule obteve aumento linear da maior dotação hídrica em relação a menor lâmina aplicada.

Aos 45 DAT das plantas irrigadas com tratamento 100% obtiveram estatisticamente o maior número de folhas entre os tratamentos com média de 11,18 folhas, enquanto no tratamento de 40% apresentou o menor valor (8,09) (Figura 18A). O clone BGC 283 e o clone BGC 98 foram os genótipos que apresentaram os maiores valores médios para todas as capacidades máximas de retenção de água no solo, mas só se diferenciaram do CCP 76 e do BGC 484, que apresentou menor número de folhas aos 45DAT (Figura 18B).

Um estudo realizado por Guedes *et al.* (2014) investigou o crescimento do *Arachis hypogaea* L. (amendoim) sob condições de déficit hídrico, constataram que houve significância, tendo o estresse hídrico causando redução no número de folhas, pois quando se compara as plantas do grupo testemunha e as plantas sujeitas à suspensão total de rega, obtiveram médias de 19,75 folhas e 7,75 folhas, respectivamente. Já Bezerra (2022) ao

cultivar algodão colorido sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas, verificou que na fase de frutificação, as plantas com tratamento L3 (70%) e L4 (85%) apresentaram médias com aumento significativo do número de folha em relação a controle, de 15,32 e 20,70%.

Figura 18 – Análise de regressão do número de Folhas (NF) sob capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%) (A) e número de folhas (NF) de seis genótipos de cajueiro anão aos 45 DAT (B)



Fonte: autora (2023).

Várias pesquisas evidenciam a alta sensibilidade das plantas à formação de folhas sob condições de restrição de dotação hídrica (ALMEIDA, 2015; BEZERRA *et al.* 2007). Em um experimento conduzido por Guedes e Custódio (2014) com amendoins (*Arachis hypogaea* L.) cultivados em casa de vegetação, após 55 dias e dois tipos de tratamento hídrico (controle – C e suspensão total de rega – STR), foi observada uma redução no número de folhas na maioria das plantas analisadas.

A resposta das plantas diante do déficit hídrico pode sofrer uma variação conforme a espécie, estágio de desenvolvimento, duração e intensidade do estresse hídrico, bem como outros fatores ambientais. Algumas plantas possuem adaptações que lhes permitem lidar melhor com condições de escassez de água, como mecanismos de fechamento estomáticos para reduzir a transpiração (TAIZ *et al.*, 2017). No entanto, em geral, a falta de água tem um efeito negativo no crescimento e desenvolvimento das plantas.

5.3 Área foliar (m²)

A área foliar variou em função das capacidades máximas de retenção de água no

solo e dos genótipos utilizados, sem, no entanto, apresentar diferenças estatísticas significativas ($p \leq 0,01$) para a interação desses fatores (Tabela 7).

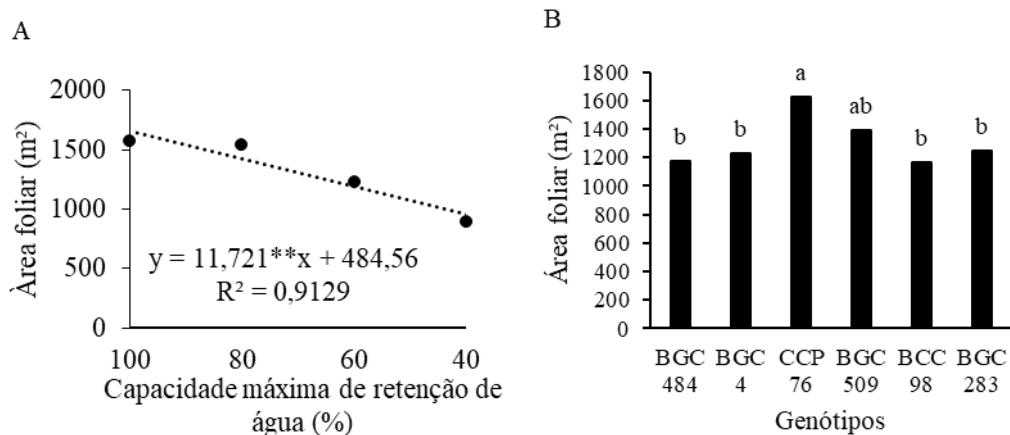
Tabela 7 – Resumo da análise de variância da área foliar de diferentes genótipos de cajueiro submetidos a diferentes capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%)

Fontes de variação	Quadrados médios	
	GL	Área foliar
Blocos	3	190537,13*
CMRA	3	2407826,92**
Genótipo (G)	5	489695,06**
CMRA x G	15	96460,52 ^{ns}
Resíduo	69	56861,79
Total	95	15613939,41
CV (%)	-	18,27

CMRA - Capacidade máxima de retenção de água no solo, FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; ^{ns} não significativo; ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Os maiores resultados de área foliar foram encontrados no tratamento de 100%, chegando a valores absolutos de 1568,12cm² e o menor para as amostras de 40% com 890,88 cm², redução de 42,5% (Figura 19A). O genótipo CCP76 com 1622,92cm² obteve as maiores médias e o BGC 98 a menor área com 1162,95cm², embora sem diferir estatisticamente dos demais genótipos do BAG (Figura 18B).

Figura 19 – Análise de regressão da área foliar de seis genótipos de cajueiro em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%) (A) e área foliar dos seis genótipos (B).



Fonte: autora (2023).

Costa et al. (2012) achou resultados significativos para área foliar, utilizando água residual na produção de mudas de cajueiro CCP76. Contudo, Rossini (2008) não observou um efeito significativo para área foliar em mudas de cajueiro anão, onde ficou evidente que a área foliar manteve-se praticamente inalterada até a aplicação da lâmina de 70% da Evapotranspiração Real (ETR). No entanto, quando as plantas foram submetidas aos tratamentos de 85% e 100% da ETR observou-se um aumento de 8,21% e 31,51% na área foliar. É válido ressaltar que a escassez hídrica colaborou para a redução da área foliar, pois quando se compara as médias da maior lâmina da ETR com a média das plantas controle, constatou-se um decréscimo.

Oliveira et al. (2020) destacam que a escassez de água no solo pode resultar na redução da área foliar das plantas, incluindo o cajueiro (*Anacardium occidentale*), seja pelo ressecamento, pela queda das folhas precoce ou diminuição do tamanho das folhas individuais, como uma adaptação a essa condição desfavorável. Isso ocorre porque a redução da área foliar ajuda a minimizar a superfície pela qual a transpiração ocorre, porém, também limita o crescimento, funcionamento e a produção da planta em razão do declínio da fotossíntese líquida.

Lima *et al.* (2023), avaliou a resposta do desenvolvimento inicial de progênies de cajueiro anão, sendo submetidas a diferentes tratamentos de água disponível no substrato (ADS). Foi constatado que as plântulas cultivadas com 70% de ADS evidenciaram menor área foliar, em comparação ao maior nível de água no substrato (100%), bem como entre as cultivares analisadas, a BRS 189 expressou diminuição de 29,80 % em relação a BRS 265 com maior parte aérea.

Mesmo comportamento apresentado nesse trabalho foi evidenciado por Silva (2013) que acharam menores áreas foliares em híbridos de eucalipto sob diferentes regimes hídricos em vasos, onde se verificou sua redução significativamente a partir de 50% de umidade do solo, evidenciando o impacto negativo da escassez hídrica.

É importante notar que a resposta fisiológicas e de crescimento das plantas de caju ao déficit hídrico pode variar dependendo da intensidade e duração do estresse, além das características específicas da variedade de cajueiro e do ambiente em que estão crescendo (LIMA *et al.* (2023). A pesquisa científica nessa área continua a evoluir, e os agricultores muitas vezes adotam práticas de manejo como irrigação controlada para mitigar os efeitos negativos do déficit hídrico nas plantas e, conseqüentemente, na produção de castanhas de caju.

5.4 Massa fresca

A massa fresca das folhas, raízes e caules variaram em função das capacidades máximas de retenção de água (CMRA) no solo e dos genótipos utilizados, sem, no entanto, apresentar diferenças significativas para interação entre os fatores ($p \leq 0,01$) (Tabela 8).

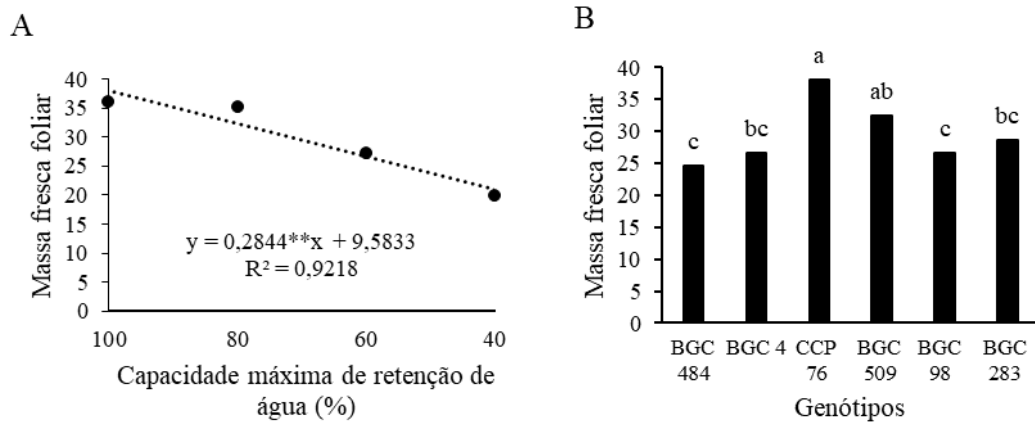
Tabela 8 – Resumo da análise de variância de massas fresca de folhas, raízes e caule de diferentes genótipos de cajueiro submetidos a diferentes capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%)

Fontes de variação	GL	QUADRADOS MÉDIOS		
		Massas frescas		
		FOLHAS	RAIZ	CAULE
Blocos	3	82,34 ^{ns}	420,39 ^{**}	118,62 ^{**}
CMRA	3	1403,73 ^{**}	1588,59 ^{**}	752,51 ^{**}
Genótipo (G)	5	392,48 ^{**}	6872,86 ^{**}	2441,38 ^{**}
CMRA x G	15	46,60 ^{ns}	78,35 ^{ns}	26,63 ^{ns}
Resíduo	69	30,61	68,31	24,41
Total	95	9231,98	46280,15	16904,73
CV (%)	-	18,76	19,64	11,66

CMRA - Capacidade máxima de retenção de água no solo, FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; ^{ns} não significativo; ^{**} e ^{*} significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Houve redução linear da massa fresca foliar com a diminuição da capacidade máxima de retenção de água solo. Os maiores valores foram encontrados no tratamento de 100% (controle), com valores de 36,0g e os menores para as amostras de 40% da CMRA 19,75g, redução de 44,9% (Figura 20A). Vale salientar que a redução foi semelhante para todos os genótipos. Por outro lado, o genótipo CCP 76 apresentou maiores valores de massa fresca das folhas (38,06g), enquanto o BGC 484 e o BGC 98 apresentaram os menores valores (média de 24,63g) (Figura 20B).

Figura 20 – Análise de regressão da massa fresca foliar de cajueiro anão em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água (CMRA) no solo (A) e massa fresca foliar de seis genótipos (B)



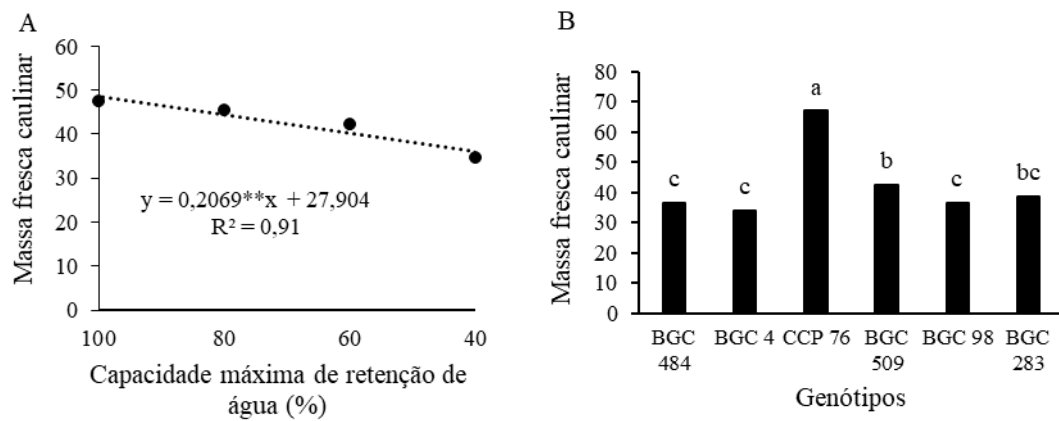
Fonte: autora (2023).

Baldo et al. (2009) conduziram um experimento com algodoeiro da variedade Delta Opal, no qual aplicaram estresse hídrico com 15, 30 e 45 dias, após 69 dias de semeadura. Observou-se uma diminuição significativa na massa fresca foliar, evidenciando que a escassez hídrica impactou o crescimento da parte aérea da planta, com abscisão e redução da superfície foliar, resultante da inibição da expansão celular, visando diminuir a transpiração e preservar uma maior quantidade de água por um período prolongado.

Não se encontraram diferenças estatisticamente significativas na massa fresca foliar (Costa *et al.* 2012) em mudas de cajueiro anão precoce irrigado, comportamento contrário foi verificado por Matos *et al.* (2003) que, trabalhando com porta-enxertos CCP06 e CCP09, obteve 9,2 g/planta e 7,1 g/planta, respectivamente, aos 39 dias após o plantio, e também a maior produção de matéria fresca foliar no tratamento sem estresse (controle).

A massa fresca dos caules foi reduzida linearmente com a redução das capacidades máximas de retenção de água (CMRA) no solo. Os maiores valores caulinares foram encontrados no tratamento de 100% nas folhas, (48,59g) e os menores no tratamento de 40% da capacidade máxima de retenção (36,18g), redução de 25,5% (Figura 21A). O genótipo CCP 76 apresentou maiores valores de massa caulinar (66,88g) enquanto o BGC 4 apresentou as menores médias, com 33,75g, mas sem diferir estatisticamente dos outros genótipos do BAG (Figura 21B).

Figura 21 – Análise de regressão da massa fresca caulinar de cajueiro anão em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água (CMRA) no solo (A) e massa fresca caulinar de seis genótipos (B)



Fonte: autora (2023).

Em um contexto de cajueiros (*Anacardium occidentale*) sujeitos a estresse hídrico, medir a massa fresca e seca do caule da planta pode oferecer informações relevantes sobre como o déficit de água está afetando essas partes da planta (LIMA, 2010).

Taiz et al. (2017) relatam que a relação entre a massa fresca e a massa seca do caule pode ser calculada para compreender como a planta está alocando recursos em resposta ao estresse hídrico. A diminuição dessa relação pode indicar que a planta está reduzindo o investimento em crescimento estrutural e alocação de nutrientes para o caule, priorizando outras partes da planta, como as raízes ou folhas, que são críticas para a sobrevivência imediata (TAIZ *et al.*, 2017).

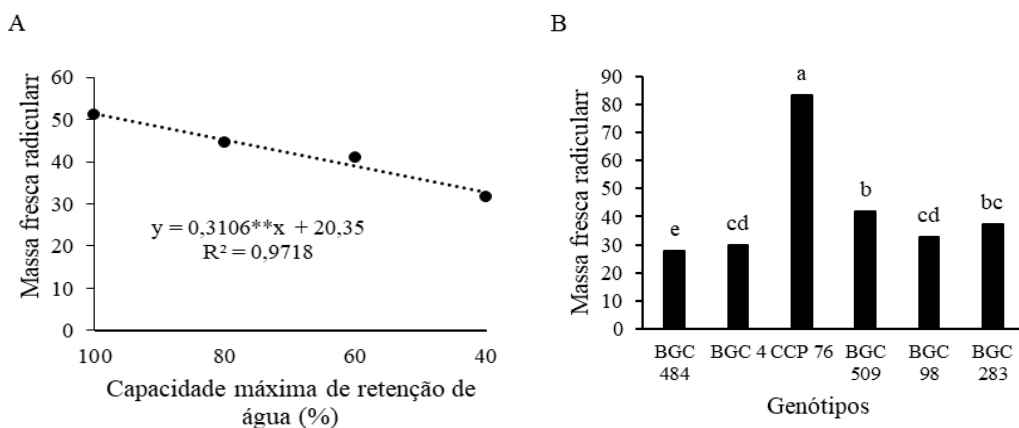
Souza (2019), estudando a massa fresca do caule de alguns genótipos de soja após 24 dias da aplicação dos tratamentos de estresse hídrico, notou a interação significativa entre genótipo e tratamento. De forma geral, na inexistência de estresse hídrico, as plantas de soja que receberam o tratamento controle, ou seja, foram irrigadas, exibiram valores de massa fresca parecidos entre todos os genótipos avaliados. Já o estresse abiótico de seca moderada e seca severa, provocou reduções drásticas na produção da massa fresca dos caules e raízes (SOUZA, 2019).

Morales et al. (2015), constatou um aumento significativo na massa fresca do caule à medida que duas linhagens de tomateiro (TOM-684 e M-82) recebem um maior nível de umidade do solo.

Por fim, seguindo o mesmo padrão dos outros dois órgãos analisados (folha e caule), a massa fresca radicular foi reduzida linearmente pela diminuição da capacidade máxima de retenção de água no solo, com os maiores valores sendo encontrados no tratamento de 100% de capacidade máxima de retenção (51,4g) e redução de 36,2% quando comparado ao tratamento de 40% (Figura 22A). A não interação com o fator genótipo indica

que todos os genótipos sofreram redução de maneira semelhante. O genótipo CCP 76 também apresentou maior massa de raízes (83,13g), enquanto BGC 484 apresentou a menor, com 27,75g (Figura 22B).

Figura 22 – Análise de regressão da massa fresca radicular de cajueiro anão em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água (CMRA) no solo (A) e massa fresca radicular de seis genótipos (B)



Fonte: autora (2023).

Seleiman *et al.* (2021) mostraram que a redução da massa fresca das raízes foi um dos principais fatores que limitaram o crescimento dos cajueiros sob condições de déficit hídrico.

A redução na capacidade máxima de retenção de água no solo de 100% para 40% da capacidade máxima de retenção proporcionou redução na massa fresca dos três órgãos, sendo mais pronunciada nas folhas, seguido das raízes e depois do caule. Esse comportamento foi semelhante para todos os genótipos.

A massa fresca das folhas, raízes e caules é um importante indicador do desempenho fisiológico das plantas, incluindo os cajueiros. A pesquisa de Martins (2021), apresenta um comportamento similar ao observado nesta pesquisa, onde o déficit hídrico resultou em redução significativa da massa fresca das folhas, raízes e caules dos cajueiros.

5.5 Massa seca

A massa seca das folhas, raízes e caules variaram em função das capacidades máximas de retenção de água no solo em cada tratamento e dos genótipos utilizados, sem haver interação entre os fatores (Tabela 9).

Tabela 9 – Resumo da análise de variância massas secas de folhas, raízes e caule de diferentes genótipos de cajueiro submetidos a diferentes capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%).

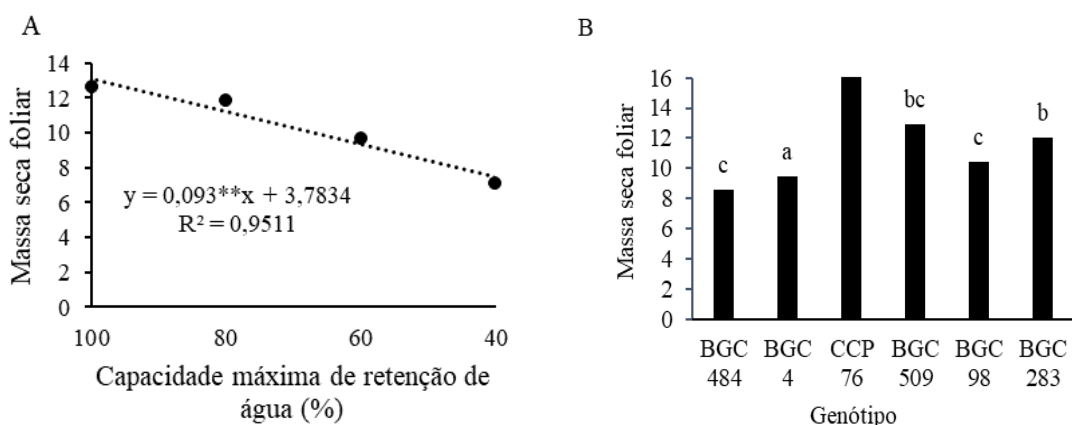
Fontes de variação	GL	Quadrados médios		
		Massas secas		
		Folhas	Raiz	Caule
Blocos	3	14,51**	79,31**	10,98**
CMRA	3	145,52**	146,72**	51,64**
Genótipo (G)	5	81,32**	1091,85**	401,02**
CMRA x G	15	5,91 ^{ns}	18,00 ^{ns}	2,17 ^{ns}
Resíduo	69	3,30	11,87	2,24
Total	95	1203,58	7227,13	2380,58
CV (%)	-	17,67	24,68	11,55

CMRA - Capacidade máxima de retenção de água no solo, FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; ^{ns} não significativo; ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Medir a massa dos órgãos da planta, após o processo de secagem, pode revelar se a planta está reduzindo a produção de biomassa ou se está priorizando a alocação de recursos para partes específicas (TAIZ *et al.*, 2017).

Nas folhas, houve redução linear significativa da massa das mesmas devido a diminuição dotação hídrica do solo, com uma redução de 43,6% do tratamento de maior para o de menor umidade (12,58g e 7,09g, respectivamente) (Figura 23A). O genótipo CCP 76 apresentou maior valor de massa seca das folhas (14,41g), enquanto praticamente não houve diferença estatística para os demais clones de cajueiro (Figura 23B).

Figura 23 – Análise de regressão da massa seca foliar de cajueiro anão em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água (CMRA) no solo (A) e massa seca foliar de seis genótipos (B).



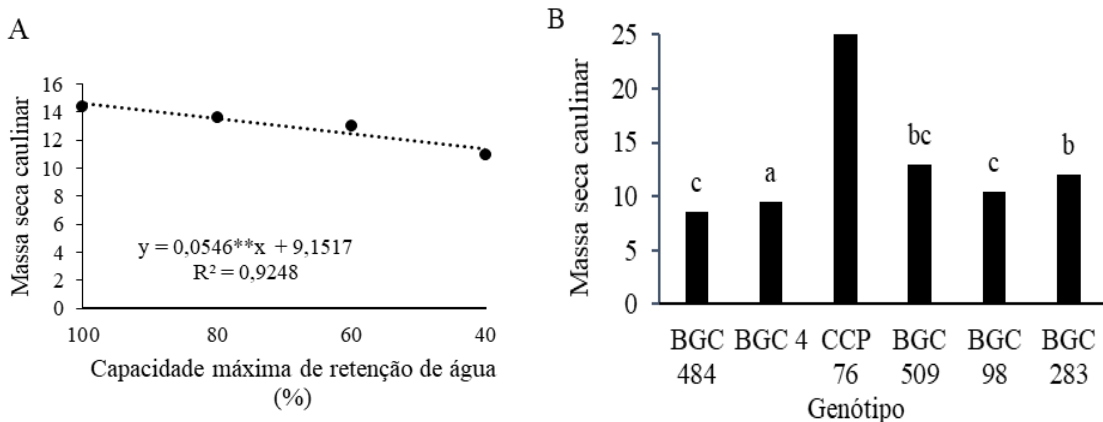
Fonte: autora (2023).

Os resultados corroboram com Lima *et al.* (2023), constatando que a cultivar CCP76 sobressaiu-se dos demais genótipos apresentando a maior média da massa seca foliar. Contudo, as massas secas das folhas (MSF) e do caule (MSC) foram impactadas significativamente pelo parâmetro de água disponível no substrato (ADS), fato evidenciado com os maiores valores dessas variáveis biométricas no tratamento de (100% ADS) em relação ao menor nível de dotação hídrica (70% ADS).

Comportamento semelhante ao das folhas foram encontrados para os caules, com redução linear em função da diminuição retenção hídrica no solo. Aqui, quando comparado os valores da maior com a menor capacidade de retenção de água, houve redução de 22,4% (14,38g e 10,96g, respectivamente (Figura 24A).

Salienta-se mais uma vez que o padrão de redução em função do estresse hídrico foi semelhante para todos os genótipos. Quando se compara os genótipos levando-se em consideração todos os tratamentos hídricos, observa-se que o CCP 76 apresentou maior massa seca caulinar (23,02g) sem distinção clara entre os demais clones (Figura 24B).

Figura 24 – Análise de regressão da massa seca caulinar de cajueiro anão em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água (CMRA) no solo (A) e massa seca caulinar de seis genótipos (B)



Fonte: autora (2023).

A medida da massa seca do caule é importante para se entender como o caule está sendo afetado em termos de crescimento estrutural e composição celular. A massa seca do caule pode diminuir sob estresse hídrico, indicando a redução no crescimento e na produção de matéria orgânica. Isso pode ser um reflexo das adaptações da planta para conservar energia

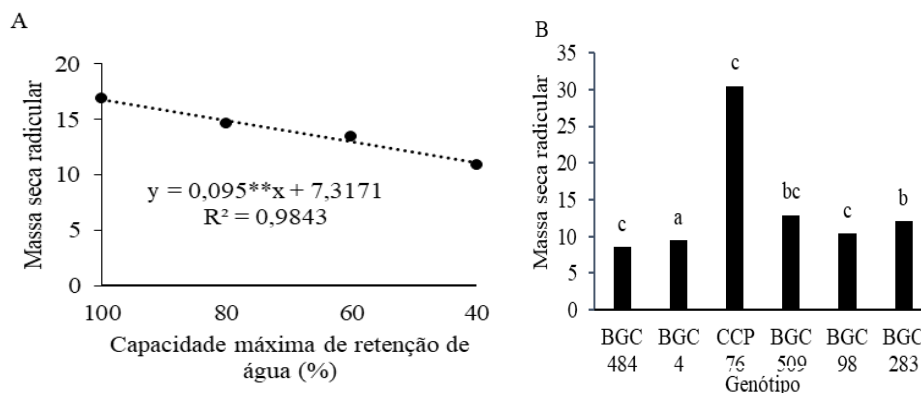
e nutrientes durante o período de estresse (AQUINO, 2007).

Essas medidas também podem ser complementadas por análises mais detalhadas, como a avaliação da concentração de solutos no caule (osmólitos), avaliação de atividade de enzimas relacionadas ao estresse e análises de expressão gênica. Tudo isso permitirá obter uma compreensão mais completa das respostas fisiológicas e moleculares do caule do cajueiro ao estresse hídrico (AMORIM, 2011).

Mar *et al.* (2013), descrevem resultados de seu trabalho desenvolvido com plantas jovens de açaizeiros, que coadunam com os dados apresentado cima, assim como a produção de biomassa de um vegetal está intrinsicamente ligado a disponibilidade hídrica. Ao término do experimento (44 dias), a produção de biomassa seca foi afetada nas plantas sujeitas ao déficit hídrico, resultando em reduções de 38%, 41% e 37% na biomassa seca das folhas, raízes e caule, respectivamente, em comparação com as plantas controle (MAR *et al.* (2013).

Para as raízes, semelhantemente aos outros órgãos, a redução da capacidade de retenção de água resultou em declínio linear da massa seca das raízes, com redução de 33,9% do tratamento com maior para o de menor umidade (Figura 25A). Os maiores valores de massa seca radicular foram encontrados no genótipo CCP 76 (30,51g), sem distinção clara entre os demais genótipos (Figura 25B)

Figura 25 – Análise de regressão da massa seca radicular de cajueiro anão em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água (CMRA) no solo (A) e massa seca radicular de seis genótipos (B)



Fonte: autora (2023).

Figueirôa *et al.* (2004) verificaram menor massa seca da raiz de plantas jovens de aroeira sob déficit hídrico e para Aquino (2007) a massa seca das raízes pode diminuir sob estresse hídrico, indicando uma redução na produção de biomassa ou uma alocação alterada de recursos. Por outro lado, a relação entre a massa seca e a massa fresca das raízes pode ser

calculada para entender como a planta está alocando recursos em resposta ao estresse hídrico. Uma redução nessa relação pode indicar que a planta está priorizando a alocação de água para as raízes, buscando otimizar a absorção de água e nutrientes, enquanto reduz o crescimento da parte aérea (AQUINO, 2007).

Morales (2015) verificou que as cultivares de tomate TOM-684 e M-82 diferiram em quase todos as variáveis biométricas de crescimento avaliados, com exceção da massa seca de raízes, resultado não significativo. As raízes desempenham um papel crucial na absorção de água e nutrientes do solo. Portanto, entender como as raízes respondem ao estresse hídrico é fundamental para prever como a planta como um todo está se adaptando a condições adversas (TAIZ *et al.*, 2017).

Além dessas medidas, também é relevante analisar a arquitetura das raízes, a concentração de solutos osmóticos nas raízes, as mudanças na atividade de enzimas relacionadas ao estresse e até mesmo a expressão gênica específica nas raízes sob estresse hídrico (AMORIM, 2011). Todas essas informações combinadas ajudam a construir um quadro mais completo das respostas das raízes dos cajueiros ao estresse hídrico.

5.6 Carboidratos solúveis totais

O teor de açúcares solúveis foliares (ASF) foram afetados pela capacidade máxima de retenção de água no solo, sem influência dos genótipos. Nas raízes, os açúcares solúveis foram afetados tanto pela capacidade de retenção do solo quanto pelos genótipos utilizados. No caule os AST foram afetados somente pela dotação hídrica do solo do solo, mas de maneira diferente entre os genótipos (Tabela 10).

Tabela 10 – Resumo da análise de variância de açúcares solúveis totais de folhas, raízes e caule de diferentes genótipos de cajueiro submetidos a diferentes capacidades máximas de retenção de água no solo (40, 60, 80 e 100%)

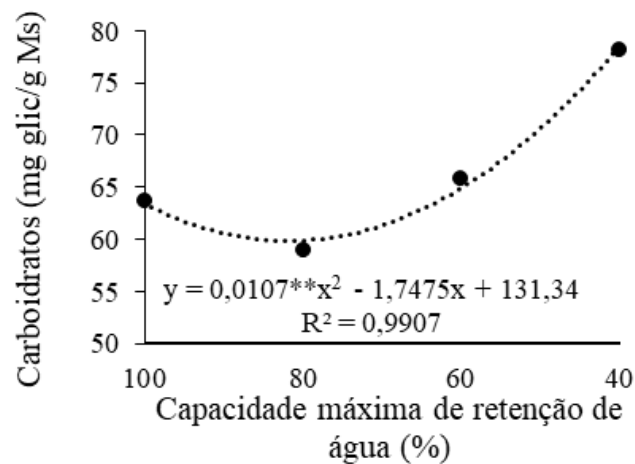
Fontes de variação	GL	Quadrados médios		
		Carboidratos Solúveis Totais		
		Folha	Raiz	Caule
Blocos	3	178,62 ^{ns}	93,25 ^{ns}	207,09*
CMRA	3	1078,84**	1316,77**	1348,34**
Genótipo (G)	3	202,81 ^{ns}	286,81*	75,15 ^{ns}
CMRA x G	9	181,93 ^{ns}	160,00 ^{ns}	208,04**
Resíduo	45	163,22	83,02	72,71
Total	63	13363,24	10266,86	10036,40

CV (%)	-	19,16	23,83	18,22
--------	---	-------	-------	-------

CMRA - Capacidade máxima de retenção de água no solo, FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; ns não significativo; ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Os teores de açúcares solúveis totais (AST) nas folhas foram aumentados com a redução da capacidade de retenção de água, especialmente no nível de menor umidade (40%), chegando a valores de 98,56 mg glic g⁻¹ MS (Figura 26).

Figura 26 – Análise de regressão dos carboidratos foliares de cajueiro anão em função de diferentes capacidades máximas de retenção de água do solo



Fonte: autora (2023).

Lima et al. (2023) avaliou os açúcares solúveis foliares (ASF) em progênies de cajueiros submetidas a 100% de água disponível no substrato, demonstrando valores similares entre si. No entanto, sob o tratamento com 85% de ADS, a progênie BRS 189 apresentou o menor teor de ASF em comparação com as outras cultivares. Já sob o regime com 70% de ADS, a CCP 76 revelou o maior teor de ASF, indicando uma maior tolerância ao estresse em comparação com as outras. Isso sugere que, apesar da escassez de água na zona radicular, essa cultivar foi capaz de gerar fotoassimilados e deslocá-los para sua região aérea.

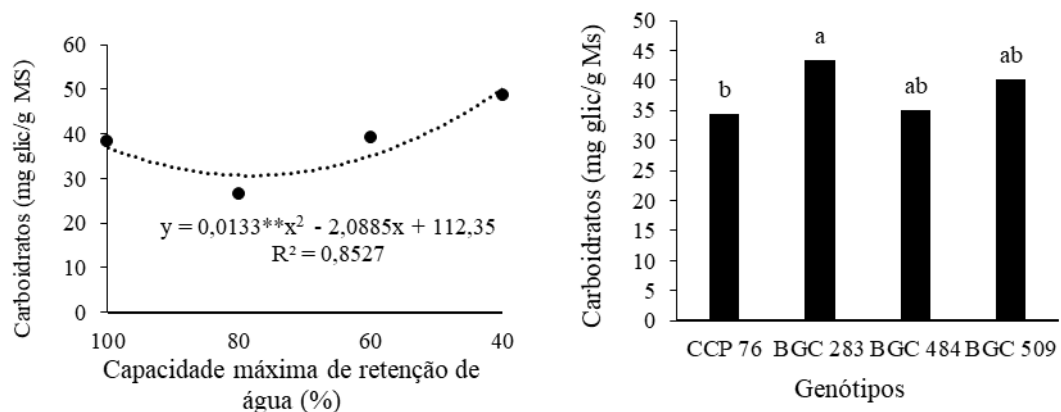
As plantas geralmente respondem osmoticamente o decréscimo da disponibilidade hídrica do solo elevando os níveis de açúcares solúveis em seus tecidos. Isso ocorre para ajudar na adaptação ou simplesmente para realizar um ajuste osmótico ao estresse hídrico aplicado (VITORINO et al., 2013).

Pedroso et al. (2014), mencionam que os açúcares solúveis produzidos nas folhas são empregados na manutenção das atividades metabólicas que garantem a sobrevivência das plantas, de tal forma que o seu decréscimo na concentração foliar são geralmente

evidenciados nas condições severas de déficit hídrico.

Nas raízes, também houve aumento dos AST com a diminuição da capacidade máximas de retenção de água do solo, com o menor valor na umidade de 80% e a maior na umidade de 40% (30,39 e 50,09 mg glic g⁻¹ MS, respectivamente) (Figura 27A). Já entre os genótipos analisados, as diferenças foram mínimas, com o CCP 76 apresentando menor valor (Figura 27B).

Figura 27 – Análise de regressão dos carboidratos radiculares de cajueiro anão em função de capacidades máximas de retenção de água do solo (A) e carboidratos radiculares dos seis genótipos utilizados (B)



Fonte: autora (2023).

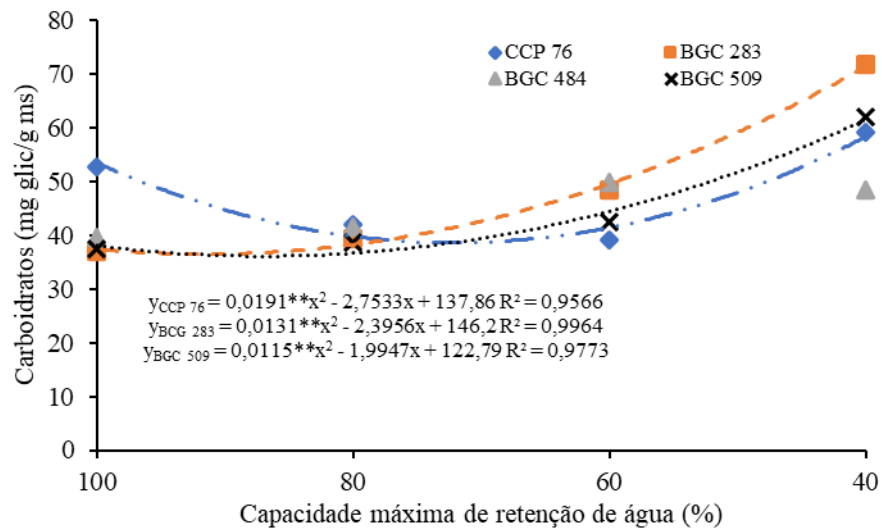
Concernente com a seguinte pesquisa, Lima *et al.* (2023), confirmaram que os açúcares solúveis nas raízes (ASR) foram influenciados pela água disponível no substrato e a cultivar CCP76 obteve um baixo teor médio de açúcar solúvel na região radicular.

Os açúcares solúveis totais do caule foram aumentados de maneira semelhante aos demais órgãos, com a redução da capacidade de retenção de água no solo, tendo o comportamento dependente do genótipo analisado.

Os maiores valores para açúcares solúveis totais do caule foram encontrados no tratamento de 40%, em especial para o clone BGC 283 (71,3 mg de glic g⁻¹MS, aumento de 47% em relação ao tratamento controle), enquanto para o genótipo BGC 484 praticamente não houve mudança nos AST com a redução do teor de água no solo (Figura 28).

Figura 28 – Análise de regressão de açúcares solúveis totais nos caules de genótipos distintos, submetidas aos tratamentos de 40, 60, 80 e 100% da capacidade máxima de retenção de água

do solo



Fonte: autora (2023).

Castro (2016) ao estudar a resistência ao déficit hídrico em cultivares de soja, relatou que os maiores teores de açúcares solúveis totais (AST) foram na cultivar Anta 82, quando comparada as outras cultivares sob estresse combinado, tendo um acréscimo de 16% (AST) em relação às plantas irrigadas.

Rao (2013) descreve que em situações de estresse, as plantas superiores acumulam osmólitos, que incluem os açúcares, prolina livre, íons, proteínas e outros solutos, contudo isso é feito principalmente para preservar a turgescência celular e equilibrar as proteínas e estruturas celulares em condições adversas.

5.7 Taxa de sobrevivência das plantas

Durante a condução do experimento 97,13% das plantas sobreviveram, bem como a taxa de sobrevivência das plantas em situações de estresse hídrico é um indicador crítico da capacidade das plantas de lidar com condições ambientais adversas, especialmente a escassez de água (LIMA, 2010).

O genótipo BGC 283 e BGC 509 obtiveram 100% da taxa de sobrevivência, BGC 484 (98,43%), CCP 76 e BGC 4 (95,31%), enquanto o clone mais afetado foi o BGC 98 com 93,75%. Quanto as unidades relacionadas aos genótipos acima, as plantas sob o tratamento de 40% foram as mais prejudicadas.

Em condições de estresse hídrico, as plantas podem adotar várias estratégias para sobreviver, e a taxa de sobrevivência reflete a eficácia dessas adaptações. Algumas das respostas comuns das plantas ao estresse hídrico incluem: fechamento estomático, desenvolvimento das raízes e/ou acúmulo de solutos osmóticos (CARR, 2014).

Compreender essas respostas adaptativas é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de manejo que visam melhorar a resistência das plantas ao estresse hídrico, especialmente em um contexto de mudanças climáticas globais.

6 Conclusões

As trocas gasosas foram afetadas pela redução da capacidade máximas de retenção de água do solo de forma semelhante para todos os genótipos, com a condutância estomática sendo o parâmetro mais afetado, seguido pela transpiração e pela fotossíntese.

Das variáveis de crescimento, apenas o número de folhas foi afetado diferencialmente entre os genótipos pela restrição hídrica, com o CCP 76 sendo o clone mais afetado.

O clone BGC 283 apresentou o maior número de folhas e o CCP 76 obteve o desempenho mais significativo quanto ao diâmetro do caule e de altura da planta.

A área foliar e as massas frescas e secas dos diversos órgãos foram reduzidas pela diminuição da capacidade máximas de retenção de água do solo, sem haver distinção entre os genótipos. As folhas foram sempre o órgão mais afetado.

O CCP 76 apresentou maior área foliar e maiores massas frescas e secas, sem maiores distinções entre os demais genótipos.

Os açúcares solúveis totais foram aumentados nos três órgãos com a redução da umidade do solo, sem haver distinção entre os genótipos.

O clone que teve sua taxa de sobrevivência mais afetado foi o BGC 98 com 93,75%, enquanto o tratamento que mais influenciou esse fator foi a de 40%.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. R. A. **Qualidade e atividade antioxidante total de pedúnculos de clones comerciais de cajueiro anão precoce**. 2007. 111 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2007.
- ALMEIDA, I. P.; ANDRADE, M. L. de A.; SOUSA, J. S.; SILVA, S. S.; ANDRADE, A. B. A. Avaliação das características morfológicas mudas de cajueiro sob déficit hídrico em condições de Semiárido paraibano. **Revista Verde** (Pombal - PB - Brasil) v. 10, n.1, p. 08 - 10, 2015.
- ALMEIDA, L. H. F. *et al.* Viabilidade econômica da produção de caju (*Anacardium occidentale* L.). **Revista Nativa**, v. 5, n. 1, p. 9–15, 2017.
- ALMEIDA, M. L. B. *et al.* Características físicas de pedúnculos de clones de cajueiro-anão (*Anacardium occidentale* L.) produzidos em função da variação ambiental e temporal. **Revista colomb. cienc. hortíc.**, Bogotá, v. 12, n. 1, p. 41-49, 2018.
- AMORIM, A. V. *et al.* Respostas fisiológicas de plantas adultas de cajueiro anão precoce à salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 01, p. 113-121, 2010.
- AMORIM, A. V.; GOMES-FILHO, E.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; LACERDA, C. F. Produção e fisiologia de plantas de cajueiro anão precoce sob condições de sequeiro e irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 1014-1020, 2011.
- AMORIM, F. F. V. R. **Doses de ferro no crescimento, trocas gasosas e eficiência nutricional de mudas enxertadas de cajueiro-anão**. 2019. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2019.
- ARAÚJO, J. P. P. **Caju: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 2. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2015.
- AQUINO, A. J. S.; LACERDA, C. F.; HERNANDEZ, F. F. F.; SILVA, F. B.; GHEYI, H. R. Crescimento, partição de matéria seca e retenção de Na⁺, K⁺ e Cl⁻ em dois genótipos de sorgo irrigados com águas salinas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, n. 5, p. 961-971, 2007.
- BARROS, L. M.; CRISÓSTOMO, J. R.; PAIVA, W. O.; PAIVA, J. R. Melhoramento genético do cajueiro. In: Silva, V.V. da. (ed.). **Caju. O produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa-SPI. p.81-92, 2004.
- BEZERRA, M. A.; LACERDA, C. F.; G. FILHO, E.; ABREU, C. E. B. de; PRISCO, J. T. Physiology of cashew plants grown under adverse conditions. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 449-461, 2007.

BEZERRA, J. R. M. **Cultivo de algodoeiro colorido sobre déficit hídrico em diferentes fases fenológicas**. 2022. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Pombal, 2022.

BORGES, J. Cashew tree (*Anacardium occidentale*): Possible applications in dermatology. **Clinics in Dermatology**, v. 39, n. 3, p. 493-495, 2021.

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

BRAINER, M. S. de C. P.; VIDAL, M. de F. Cajucultura nordestina em recuperação. **Caderno Setorial ETENE**, v. 3, n. 54 p. 1-13, 2018.

CARDOSO, J. E.; VIANA, F. M. P. **Impacto potencial das mudanças climáticas sobre as doenças do cajueiro no Brasil**. In: GUINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (Org.). Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, v. 1, p. 161-176, 2011.

CAPELARI, E. F. **Prospecção de genes responsivos a estresse hídrico em uma espécie neotropical: cajueiro (*Anacardium occidentale*)**. 2022. 99f. Tese (Doutorado em Genética e Biologia Molecular) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências, Programa de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular. 99 p. Rio Grande do Sul, 2022.

CARNEIRO, P. T.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L. Germinação e crescimento inicial de genótipos de cajueiro anão-precoce em condições de salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.199-206, 2002.

CARNEIRO, A. **Perfil do setor**. p. 04 – 05. Documentos, 38), Ceará, 2017.

CARR, M. K. V. The water relations and irrigation requirements of cashew (*Anacardium occidentale* L.): a review. **Experimental Agriculture**, v. 50, n. 1, p. 24-39, 2014.

CASTRO, A. C. R.; VIDAL, R. F.; BARROS, L. M.; VIDAL NETO, F. C.; BORDALLO, P.; ARAGÃO, F.A.S. Introdução, coleta e conservação de recursos genéticos do cajueiro. In: ARAUJO, J. P. P. (Ed.) **Agronegócio Caju: Práticas e Inovações. Embrapa Agroindústria Tropical**, Fortaleza, p. 248-262, 2012.

CASTRO, J. N. **Resistência ao déficit hídrico e à temperatura supraótima em cultivares de soja**. 2016. 47 f. Dissertação (Mestrado em ciências agrárias) – Instituto Federal Goiano, Programa de Pós-Graduação Em Ciências Agrárias – Agronomia, Campus Rio Verde, Rio Verde, 2016.

CASTRO, A. C. R. de; VASCONCELOS, L. F. L. **A arca de Noé das frutas nativas**. Brasília, DF: Embrapa, 2021.

CAVALCANTI, M. L. C. *et al.* Crescimento do cajueiro anão precoce submetido à estresse hídrico em fases fenológicas. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v. 22, n. 02, 2022.

CAVALCANTI, M. L. C. *et al.* Fisiologia do cajueiro anão precoce submetido à estresse hídrico em fases fenológicas. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v. 08, n. 01, p. 42-53, 2008.

CAVALCANTI, M. L. F. **Estresse hídrico em fases fenológicas do cajueiro anão precoce em ambiente protegido**. 2007. 109f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2007.

CAVALCANTI JÚNIOR, A. T.; BARROS, L. M. **Jardins clonais e jardins de semente para produção de mudas de cajueiro**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 32 p, 2001.

CAVALCANTI JÚNIOR, A. T. CHAVES, J. C. M. **Produção de mudas de cajueiro**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 43 p, 2001.

CLIMATE-DATA. ORG. **Dados climáticos para cidades mundiais**. 2022. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/>. Acesso em: jun. 2023.

COSTA, L. R. *et al.* Crescimento de mudas de cajueiro anão precoce irrigado com efluente doméstico tratado. **Revista Bras. Ciênc. Agrár.** Recife, v. 7, n. 3, p. 421-426, 2012.

DAS, I.; ARORA, A. Post-harvest processing technology for cashew apple—A review. **Journal of Food Engineering**, v. 194, 2017.

DENDENA, B.; CORSI, S. Cashew, from seed to market: A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, n. 4, p. 753–772, 2014.

DUBOIS, M. K. A.; GILLES, J. K.; HAMILTON, P. A. REBERS AND F. SMITH. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, 28, n. 03, p. 350-356, 1956.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical (CNPAT). **Recomendações para produção, plantio e manutenção de mudas de cajueiro**. Fortaleza: Comunicado técnico, n. 08, p.1-4, 1995.

FANOURAKIS, D.; GIDAY, H.; MILLA, R.; PIERUSCHKA, R. Stomatal behavior following partial root-zone drying: a comparison between lineages of tomato with contrasting ABA xylem concentrations. "**Journal of Experimental Botany**", v. 66, p. 261-270, 2015.

FAO. 2017. **The future of food and agriculture – trends and challenges**. Rome. Disponível em: <http://www.fao.org/3/b-i6407e.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2022.

FAOSTAT. FAO statistical data bases: Cantidad de producción. <<http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>>. 03 fev. 2022.

FIGUEIREDO, M. C. B. *et al.* Environmental assessment of tropical perennial crops: the case of the Brazilian cashew. **Journal Of Cleaner Production**, v. 112, p.131- 140, 2016.

FIGUEIREDO, L. C. *et al.* Substratos e lâminas de irrigação na produção de porta-enxertos de cajueiro crioulo. **Scientia Agraria Paranaensis**, Paraná, v. 18, n. 2, p. 168-174, 2019.

FARIA, L. N. *et al.* The effects of irrigation management on floral induction of 'Tommy Atkins' mango in Bahia semiarid. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 3, p. 387-398, 2016.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Purification and quantitative relationship with water-soluble protein in seedlings. **Journal of Plant Physiology**, v. 48, n. 59, p. 315-318, 1977.

GONG, Z. *et al.* **Plant abiotic stress response and nutrient use efficiency**. Science China Life Sciences Science in China Press, 2020.

GUEDES, K. C.; CUSTÓDIO, R. J. N. M. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 4, n. 2, p. 1-17, 2014.

GUO, R. *et al.* Metabolic responses to drought stress in the tissues of drought-tolerant and drought-sensitive wheat genotype seedlings. **AoB PLANTS**, v. 10, n. 2, p. 1–13, 2018.

HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. Biochemical and Developmental Characterization of Multiple Forms of Catalase in Tobacco Leaves. **Plant Physiology**, v. 84, 450-455, 1987.

HUSSAIN, M. *et al.* Drought stress in sunflower: Physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. **Agricultural Water Management**, v. 201, n. 2017, p. 152–166, 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores conjunturais: agropecuária, produção agrícola 2020**. Disponível em: www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf. Acesso em: 23 out. 2023.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, Peroxidase and Polyphenol Oxidase Activities during Rice Leaf Senescence. **Plant Physiology**, v. 57, p. 315-319, 1976.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Econômica, 478p, 1948.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. (Trad.) de Prado, C. H. B. A. São Carlos: Rima, 500p, 2000.

LEITE, J. B. V. Cacaueiro: **Propagação por estacas caulinares e plantio no semi-árido do estado da Bahia**. 2006. 84 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2006.

LEITE, K. N. **Análise econômica da resposta do cajueiro anão precoce BRS 189 aos fatores de produção água e adubo potássico**. 2010. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2010.

LIMA, M. A.; BEZERRA, M. A.; GOMES FILHO, E.; PINTO, C. M.; GOMES, J. E. Trocas gasosas em folhas de sol e sombreadas de cajueiro anão em diferentes regimes hídricos. **Revista Ciênc. Agron.**, v. 41, n. 4, 2010.

LIMA, A. C. *et al.* **Melhoramento genético do cajueiro.** Introdução, coleta e conservação de recursos genéticos do cajueiro, n. 4, v. 18, 2012.

LIMA, R. E. M. **Respostas fisiológicas e de produção em plantas de cajueiro anão precoce exploradas simultânea para goma, castanha e pedúnculos, sob diferentes níveis de irrigação e adubação.** 2014. 101f. Dissertação (mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2014.

LIMA, R. E. M.; FARIAS, F. C.; ARAUJO, L. F.; CALVET, A. S. F.; BEZERRA, M. A. Desenvolvimento inicial de progênies de cajueiro anão (*Anacardium occidentale* L.) submetidas a diferentes regimes hídricos. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 1307-1318, 2023.

LINARD, C. F. B. M. *et al.* Neuroprotective effect of extract of *Anacardium occidentale* L. on a rotenone model of parkinson's disease, **IJPSR**, v. 6, n. 1, p. 123-129. 2015.

LINHARES, H. P. **Implantação de requisitos corporativos da qualidade e identificação dos impactos ambientais no banco ativo de germoplasma de cajueiro.** 2019. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2019.

LISAR, S. Y. *et al.* Water Stress in Plants: Causes, Effects and responses. In: **Water Stress**. InTech, p. 1–13, 2012.

MACÊDO, M. L. **Viabilidade econômica do cultivo irrigado do cajueiro anão precoce na agricultura.** 2013 75f. Dissertação (mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2013.

MANGALASSERY, S.; REJANI, R.; SINGH, V.; ADIGA, J. D.; KALAIVANAN, D.; RUPA, T. R.; PHILIP, O. S. Impact of different irrigation regimes under varied planting density on growth, yield and economic return of cashew (*Anacardium occidentale* L.). **Irrigation Science**, v. 37, n. 4, p. 483-494, 2019.

MARTINS, R. M. **Análise metabolômica dos clones de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.): aspectos macromoleculares de tolerância à seca.** 2021. 107 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Química, Fortaleza, 2021.

MELO, D. S.; VIDAL NETO, F. C.; BARROS, L. M.; SERRANO, L. A. L.; TEIXEIRA, A. S. **Protocolo para avaliações de plantas e de castanhas do programa de melhoramento genético do cajueiro da Embrapa Agroindústria Tropical.** Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 19 p, 2018.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.

MOREIRA, C. **Resposta do cajueiro anão precoce a diferentes regimes hídricos irrigado com reuso de água**. Fortaleza: UFC, 2011.

NADEEM, M. *et al.* Research Progress and Perspective on Drought Stress in Legumes: A Review. **International journal of molecular sciences**, 2019.

NAIR, K. P. Cashew Nut (*Anacardium occidentale* L.). In: **Tree Crops**. Cham: Springer International Publishing, p. 27–73, 2021.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen Peroxide Is Scavenged by Ascorbate-Specific Peroxidase in Spinach Chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, v. 22, 867-880, 1981.

NASCIMENTO, A. H. C. **Aspectos fisiológicos e produtivos de clones de cajueiro anão precoce cultivado sob dois regimes hídricos**. Fortaleza. 2010. 97 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2010.

OLIVEIRA, V. H. de; CRISOSTOMO, L. A.; MIRANDA, F. R. de; ALMEIDA, J. H. S. Produtividade de clones-enxertos de cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale* L.) irrigados no município de Mossoró – RN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA TROPICAL, 24. **Anais**. Curitiba, 110 p. 1996.

OLIVEIRA, V. H. **Cultivo do cajueiro anão precoce**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, (Embrapa Agroindústria Tropical. Sistema de Produção), 40 p, 2002.

OLIVEIRA, V. H.; BARROS, L. M.; LIMA, R. N. de. Influência da irrigação e do genótipo na produção de castanha em cajueiro-anão-precoce. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.1,66, 2003.

OLIVEIRA, N. N. *et al.* Cashew nut and cashew apple: a scientific and technological monitoring worldwide review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 1, p. 12–21, 2020.

PAIVA, J. R. de; CARDOSO, J. E.; BARROS, L. de M.; CRISÓSTOMO, J. R.; CAVALCANTI, J. J. V.; ALENCAR, E. S. **Clone de cajueiro anão-precoce BRS 226 ou Planalto**: nova alternativa para o plantio na Região Semiárida do Nordeste. Fortaleza: 62 Embrapa Agroindústria Tropical, (Embrapa Agroindústria Tropical Comunicado Técnico, 78), 40 p. 2002.

PAIVA, J. R.; CRISÓSTOMO, J. R.; BARROS, L. M. **Recursos genéticos do cajueiro**: coleta, conservação, caracterização e utilização. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 65), 43 p, 2003.

PAIVA, J. R.; BARROS, L. de M. **Clones de cajueiro**: obtenção, características e perspectivas. Fortaleza: EMBRAPA. (Documento 82), 2004.

PAIVA, F. P. T. **Desenvolvimento de plântulas de cajueiro anão sob diferentes níveis de adubação e submetidas à diferentes níveis de salinidade**. 2018. 97 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Fortaleza, Fortaleza, 2018.

PAN, X.; WELTI, R.; WANG, X. Simultaneous quantification of major phytohormones and related compounds in crude plant extracts by liquid chromatography-electrospray tandem mass spectrometry. **Phytochemistry**, v. 69, n. 8, p. 1773–1781, 2008.

PANDEY, S. *et al.* Abiotic stress tolerance in plants: Myriad roles of ascorbate peroxidase. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. 4, p. 1–13, 2017.

PIZARRO, J. C. A. **Caracteres fisiológicos e bioquímicos da tolerância à salinidade em clones de cajueiro anão precoce**. 2006. 48f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular, Fortaleza, 2006.

RABBANI, A. R. C. *et al.* Diversidade genética entre cajueiros comerciais. **Scientia Plena**, v. 8, n. 6, 2012.

RAO, D. M. Differential accumulation of osmolytes in 4 cultivars of peanut (*Arachis hypogaea* L.) under drought stress. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 16, n. 2, p. 151–159, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12892-012-0102-2>. Acesso em: 22 abr. 2021.

RINSCHEN, M. M. *et al.* Identification of bioactive metabolites using activity metabolomics. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, v. 20, n. 6, p. 353–367, 2019.

ROSSINI, D. **Estresse hídrico em diferentes fases fenológicas do cajueiro anão precoce no segundo ano de produção**. 2008. 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, 2008.

SANTOS, R. M.; SERRANO, L. A. L.; TANIGUCHI, C. A. K; ARTUR, A. G.; NATALE, W.; CORRÊA, M. C. de M. Foliar fertilization on the production of grafted dwarf cashew seedlings. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 43, 2019.

SANTOS, R. M.; NATALE, W.; TANIGUCHI, C. A. K; CORRÊA, M. C. de M.; SERRANO, L. A. L. ARTUR, A. G. Association of controlled-release and foliar fertilizers in the production of grafted dwarf cashew seedlings. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43. n. 7, 2020.

SOUZA, R. P.; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; OLIVEIRA, R. F.; SILVEIRA, J. A. G. Photosynthetic responses of young cashew plants to varying environmental conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p.735-744, 2005.

SOUZA, L. DE P.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; BONIFÁCIO, B. F.; LIMA, G. S. DE; FATIMA, R. T. DE; SOUZA, C. M. A. DE; OLIVEIRA, S. G. DE. Morphophysiology of ‘Faga 11’ cashew rootstock under saline water irrigation and exogenous proline application. **Journal of Agricultural Science**, v.10, p.402-411, 2018.

SELEIMAN, M. F. *et al.* Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects. **Plants**, v. 10, n. 2, p. 259, 2021.

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**, v. 48, n. 9, p. 1237-1245, 2013.

SERRANO, L. A. L. OLIVEIRA, V. H. Aspectos botânicos, fenologia e manejo de cultura do cajueiro. In: ARAÚJO, J. P. P. de (Ed.). **Agronegócio caju: práticas e inovações**. Brasília, DF: Embrapa, p. 77-165, 2013.

SILVA, A. R. SOUZA, A. L. P.; SANTOS, E. A. A.; LIMA, G. L.; PEIXOTO, G. C. X. SOUZA, P. C.; CASTELO, T. S. Formação de Bancos de Germoplasma e sua contribuição para a conservação de espécies silvestres no Brasil. **Ciência Animal**, v. 22, n. 1, p.219-234, 2012.

SILVA, C. D. **Híbridos de eucalipto sob diferentes regimes hídricos em vasos e crescimento no campo**. 2013. 57 p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias e Veterinária) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, 2013.

SILVA-LUZ, C.L.; PIRANI, J. R.; PELL, S. K.; MITCHELL, J. D. **Anacardiaceae in Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro**, 2020. Disponível em: <https://floradobrasil2020.jbrj.gov.br/FB4381>. Acesso em: 04 abr. 2022.

SILVA, J. P. **Uso do biocarvão e hidrogel na retenção hídrica e crescimento inicial do cajueiro precoce**. 2017. 51 f. TCC (Graduação) - Universidade Federal do Ceará, Curso de Agronomia, Departamento de Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2017.

SILVA, J. P. **Utilização de biocarvão e hidrogel e seu efeito na retenção hídrica do solo, no crescimento e na produtividade de cajueiro-anão clone “BRS 226”**. 2020. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2020.

SILVA, J. P., *et al.* **Uso de condicionadores de solo em plantas de cajueiro-anão, clone “BRS 226”, em regime de sequeiro**. Fortaleza - Embrapa Agroindústria Tropical, PDF (43 p.): (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Agroindústria Tropical, 2023.

SIMÕES, W. L.S, ANDRADE, V. P. M.; MOUCO, M. A. do C.; SOUSA, J. S. C.; LIMA, J. R. F. Produção e qualidade da mangueira ‘Kent’ (*Mangifera indica* L.) submetida a diferentes lâminas de irrigação no semiárido nordestino. *Rev Agro Amb*, v. 14, n. 2, p. 305-314, 2021.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed. 888 p, 2017.

VIDAL, M. F. A cajucultura nordestina continua em declínio. **Caderno Setorial ETENE**, v. 2, n. 22, p. 1–11, 2017.

WALTER, B. M. T.; CAVALCANTI, T. B. **Fundamentos para a coleta de germoplasma vegetal.** Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2005.