

VICENTE MOTA DA SILVA

**EFEITO DE REGULADOR DE CRESCIMENTO SOBRE A FISIOLOGIA E
COMPONENTES DE PRODUÇÃO DA MANDIOCA DE MESA SOB DEFICIÊNCIA
HÍDRICA**

Botucatu

2019

VICENTE MOTA DA SILVA

**EFEITO DE REGULADOR DE CRESCIMENTO SOBRE A FISIOLOGIA E
COMPONENTES DE PRODUÇÃO DA MANDIOCA DE MESA SOB DEFICIÊNCIA
HÍDRICA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva

Botucatu

2019

S586e

Silva, Vicente Mota da

Efeito de regulador de crescimento sobre a fisiologia e componentes de produção da mandioca de mesa sob deficiência hídrica / Vicente Mota da Silva. -- Botucatu, 2019

67 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientadora: Marcelo de Almeida Silva

1. Manihot esculenta. 2. estresse abiótico. 3. trocas gasosas. I.
Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: "EFEITO DE REGULADOR DE CRESCIMENTO VEGETAL SOBRE A FISIOLOGIA E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DA MANDIOCA DE MESA SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA"

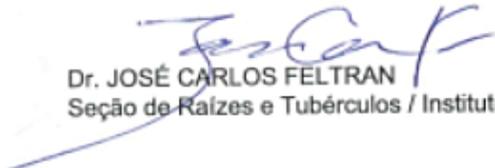
AUTOR: VICENTE MOTA DA SILVA

ORIENTADOR: MARCELO DE ALMEIDA SILVA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA
Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. ADALTON MAZETTI FERNANDES
CERAT / Universidade Estadual Paulista - UNESP


Dr. JOSÉ CARLOS FELTRAN
Seção de Raízes e Tubérculos / Instituto Agrônomo de Campinas

Botucatu, 08 de março de 2019.

A Deus, que em sua infinita graça e amor teceu
a minha vida e a conduziu até aqui;

À minha mãe Maria e ao meu irmão Renato,
por mais uma conquista de nossa família;

À minha esposa Karolyne, por seu apoio e sua
força, sem os quais a caminhada seria muito
mais difícil;

dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, Pai justo e misericordioso, Senhor supremo, por meio de quem tudo foi criado, Consolador que em todos os momentos me sustentou em sua poderosa mão e me guiou pelo reto caminho.

À minha preciosíssima mãe, Maria Mota dos Santos, pelo seu amor incondicional, exemplo de trabalho, honestidade e fé, pelo seu apoio e sacrifícios feitos em prol do meu bem-estar e educação. Ao meu irmão Renato Silvano da Silva, pelos incentivos e cuidados, me apoiando na busca de crescimento pessoal e profissional.

À minha amada esposa, Karolyne Priscila Oliveira dos Santos, pelo amor, cumplicidade, confiança, apoio, carinho e força, sem os quais a caminhada seria mais árdua.

Ao Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva, pelo auxílio em todos os momentos, orientação, ensinamentos e exemplo de superação e sucesso.

Aos companheiros do Laboratório de Ecofisiologia Aplicada à Agricultura – LECA pela convivência e amizade, especialmente a Breno Kennedy Lima Bezerra, Vanessa do Rosário Rosa, Anna Luiza Farias dos Santos, Vinícius Arantes Ribeiro, Mariana Peduti Vicentini Sab, Gabriel Henrique Germino, Jania Cláudia Camilo dos Santos e Dayane Mércia Ribeiro Silva.

À Igreja Presbiteriana do Jardim Paraíso, nas pessoas do Reverendo Jonatas Ribeiro e do Evangelista Felipe Mateus pela amizade, acolhimento e cuidado desde o primeiro momento, pelo apoio emocional e espiritual, conselhos, lições e orações. Sem essa igreja, minha vinda para Botucatu não teria o mesmo sentido.

Aos amigos que me acolheram em Botucatu, sem os quais meus dias seriam menos felizes, em especial a Aguinaldo Batista, Léia, Paula e Laís Moraes, Teófilo e Amanda Antunes que me adotaram em sua família e tanto me auxiliaram, Jéssica Freitas, Marcos Menezes, Lucas Lafetá, Giovanni Pinheiro, Agláia Ximenes, Ana Bardela, Stefania Gonçalves, Rodrigo Vargas e todos os demais jovens da Igreja Presbiteriana Jardim Paraíso.

À Magno Mandioca, na pessoa do caro Alexandre Bortoloto, pelo gentil fornecimento das manivas de mandioca para instalação do experimento.

À Stoller do Brasil pela doação do regulador de crescimento Stimulate®.

Ao Centro de Raízes e Amidos Tropicais pela estrutura de laboratório e auxílio nas análises realizadas.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus Botucatu, pela oportunidade de realização do Curso de Mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq) pela bolsa de estudos concedida, sem a qual seria não seria possível a realização do curso de Mestrado e desse estudo.

“Ele faz a água subir como vapor e depois a destila em chuva. As nuvens derramam a chuva, e a humanidade toda se beneficia. Quem pode entender a extensão das nuvens e o trovão que ressoa do céu? (...) Com esses atos poderosos, governa os povos e lhes dá comida com fartura”.

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar as características fisiológicas e os componentes de produção da mandioca de mesa IAC 576-70 sob deficiência hídrica e doses de regulador vegetal. O experimento foi conduzido em ambiente protegido, em delineamento experimental em blocos casualizados em esquema fatorial 2x5, constituído de duas tensões de água no solo (-10 durante todo o ciclo para o controle e -70 no período de 109 a 137 DAP) e cinco doses (0, 250, 500, 750 e 1000 mL ha⁻¹) do regulador vegetal Stimulate[®], com quatro repetições. As manivas-sementes foram plantadas em caixas com 0,30 m³ de solo e a umidade do solo foi monitorada por tensiômetros, mantendo-se o solo na capacidade de campo até o início dos tratamentos. As análises das características fisiológicas foram realizadas aos 96 (antes da aplicação dos tratamentos), 109 (seis dias após a aplicação do regulador vegetal), 123 (14 dias de deficiência hídrica), 137 (28 dias de deficiência hídrica), 140 (três dias de reidratação) e 143 dias após o plantio (DAP) (seis dias de reidratação). No momento da colheita, aos 309 DAP foram avaliados os componentes de produção e as características tecnológicas tempo de cozimento e absorção de água durante o cozimento. O potencial hídrico e o teor relativo de água foram alterados negativamente pela menor tensão de água no solo e positivamente pelo regulador vegetal. O déficit hídrico teve efeito negativo sobre a taxa de assimilação líquida de CO₂ das plantas e os efeitos do regulador vegetal foram inconsistentes. De forma geral, houve recuperação das características fisiológicas das plantas após a reidratação. A deficiência hídrica entre 109 e 137 DAP reduziu em mais de três vezes o número e produtividade de raízes comerciais, com efeito negativo também sobre a massa de matéria seca de raízes tuberosas, ocasionando perdas de quase 60% na produção total de raiz. A deficiência hídrica afeta a fisiologia das plantas de mandioca na fase de desenvolvimento dos ramos e folhas e ocasiona redução da produção de raízes tuberosas.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Crantz, estresse abiótico, Stimulate[®], trocas gasosas.

ABSTRACT

The aim of this research was to evaluate the physiological characteristics and Table cassava production components IAC 576-70 under water stress and plant growth regulator doses. The experiment was conducted in a greenhouse in a randomized blocks in a 2x5 factorial scheme consisting of two water tensions on the ground (-10 during the whole cycle to control the time and -70 109-137 DAP) and five doses (0, 250, 500, 750 and 1000 mL h⁻¹) of Stimulate® plant growth regulator, with four replications. The cassava stem cuttings were planted in boxes with 0.30 m³ of soil and the soil moisture was monitored by tensiometers, keeping the soil in the field capacity until the beginning of the treatments. The analyzes of the physiological characteristics were performed at 96, 109, 123, 137, 140 and 143 DAP, being , respectively, before any treatment, seven days after application of the plant regulator, 14 days of water deficit, 28 days of water deficit, three and six days of rehydration of the plants. At the time of harvesting, at 309 DAP, the production components were evaluated. The water potential and relative water content were changed by water stress in the soil and the plant growth regulator. There was an effect of the factors on the photosynthetic physiological parameters to lower the performance of the plants in water stress period, but the effects of plant growth regulator were inconsistent. In general, there was recovery of the physiological characteristics of the plants after rehydration. Water stress between 109 and 137 DAP reduced by more than three times the number and yield of commercial roots, with a negative effect also on the dry mass of tuberous roots, causing loss of almost 60% in the total production of roots. Water stress affects the physiology of cassava plants in the development phase of the branches and leaves and causes reduced production of tuberous roots.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Crantz, abiotic stress, Stimulate.

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO GERAL	17
	CAPÍTULO 1 - FISIOLOGIA DA MANDIOCA SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA E DOSES DE REGULADOR DE CRESCIMENTO VEGETAL	21
1.1	INTRODUÇÃO.....	22
1.2	REVISÃO DE LITERATURA	22
1.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	24
1.3.1	CONDIÇÕES DE CULTIVO E TRATAMENTOS.....	25
1.3.2	ANÁLISES FISIOLÓGICAS.....	27
1.3.2.1	POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR.....	28
1.3.2.2	TEOR RELATIVO DE ÁGUA.....	28
1.3.2.3	TROCAS GASOSAS.....	28
1.3.2.4	PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS.....	29
1.3.3	ANÁLISES DOS DADOS.....	29
1.4	RESULTADOS.....	30
1.5	DISCUSSÃO.....	41
1.6	CONCLUSÕES.....	43
	REFERÊNCIAS.....	44
	CAPÍTULO 2 - COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE MANDIOCA SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA E DOSES DE REGULADOR DE CRESCIMENTO VEGETAL	47
2.1	INTRODUÇÃO.....	47
2.2	REVISÃO DE LITERATURA	48
2.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	49
2.4	RESULTADOS.....	52
2.5	DISCUSSÃO.....	58
2.6	CONCLUSÕES.....	59
	REFERÊNCIAS.....	61
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
	REFERÊNCIAS	65

INTRODUÇÃO GERAL

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), pertencente à família Euphorbiaceae e, de origem no Brasil, é uma cultura arbustiva, heliófita, de crescimento perene. Possui raízes tuberosas, seu principal produto, que são fonte de carboidratos para populações em regiões em desenvolvimento como Ásia, África e América Latina (LORENZI et al., 2002; KANTO, 2012; ZANETTI, 2016). Devido a isso, é uma cultura de importância mundial, com produção de 278 milhões de toneladas, sendo a terceira fonte energética nos trópicos, atrás apenas de arroz e milho (FAO, 2016).

No Brasil, quarto maior produtor mundial, a mandioca é cultivada em todo o território nacional, com estimativa de produção em 2018 de quase 21 milhões de toneladas, numa área de 1,4 milhões de hectares, tendo rendimento de 14,6 t ha⁻¹ (FAO, 2016; IBGE, 2017). A região Sudeste produziu 2,2 milhões de toneladas de raízes tuberosas, destacando-se o estado de São Paulo com produção com 1,14 milhões de toneladas e produtividade de 24,8 t ha⁻¹, superior à média nacional (IBGE, 2017).

O plantio e fase inicial de desenvolvimento da cultura devem ser realizados preferencialmente no período de início das chuvas. Se tratando de regiões de temperaturas elevadas, o plantio pode ser realizado durante todo o ano, com auxílio de irrigação, mas em regiões de clima subtropical o plantio é limitado à época quente do ano, que no caso de São Paulo ocorre dos meses de setembro a abril (PASCOAL FILHO; SILVEIRA, 2012).

A faixa ideal de temperatura para a cultura da mandioca situa-se entre os limites de 19 e 38 °C (SOUZA, 2000). A necessidade hídrica da mandioca é em torno de 1.000 mm e 1.500 mm, desde que bem distribuídas num período de seis a oito meses durante o ano (CONCEIÇÃO, 1981). Porém, por seu amplo cultivo, é comumente conduzida em regiões de menores precipitações, chegando a receber menos que 800 mm durante quatro a seis meses (ALVES, 2006). Possui ampla adaptação às mais variadas condições edafoclimáticas, podendo ser plantada na faixa de 30°N a 30°S de latitude e em altitudes desde o nível do mar até mais de 2 mil metros. Por ser cultivada em todo o território nacional, principalmente em áreas consideradas marginais para outras culturas, a cultura da mandioca é submetida à grande variação de temperatura, fotoperíodo, radiação solar e disponibilidade hídrica (MATTOS; BEZERRA, 2003).

O desenvolvimento da planta de mandioca pode ser dividido em cinco fases fenológicas principais: Emergência (5 a 15 dias após o plantio, DAP); Início do desenvolvimento foliar e formação do sistema radicular (15 a 90 DAP); Desenvolvimento dos ramos e folhas e estabelecimento da copa (90 a 180 DAP); Translocação expressiva de carboidratos para as raízes (180 a 300 DAP) e Paralisação do crescimento vegetativo (300 a 360 DAP); sendo as quatro primeiras delas de intensa atividade metabólica, enquanto a fase final, de baixa atividade, é denominada de fase de repouso. A duração e existência dessa fase de repouso dependem de vários fatores relacionados às diferenças varietais, condições ambientais e práticas culturais (ALVES, 2006).

Embora a cultura da mandioca seja considerada tolerante à seca, um período de deficiência hídrica nas fases iniciais pode acarretar em menor diferenciação das raízes tuberosas bem como seu enchimento. Dessa forma, cultivos submetidos à deficiência hídrica podem ter queda de produtividade total em até 60% ou mesmo não ter produção de raízes comerciais quando esse estresse ocorre dos 90 aos 180 dias (CONNOR et al., 1981; OLIVEIRA et al., 1992; ZANETTI, 2016).

Estresse em plantas significa qualquer alteração significativa das condições ótimas à vida, podendo seus efeitos induzir alterações em todo o funcionamento do organismo (LARCHER, 2006). A deficiência hídrica é frequentemente conceituada como um fator externo que exerce influência negativa sobre a planta, estando relacionado ao conceito de tolerância ao estresse, que é a capacidade que a planta tem para confrontar um ambiente desfavorável (TAIZ; ZEIGER, 2009).

A baixa disponibilidade hídrica, assim como outros fatores abióticos, influencia na atividade fisiológica das plantas nas suas diferentes fases de crescimento, e dificulta o sucesso da formação das plantas em sua fase inicial (GONÇALVES et al., 2009). Dessa forma, estresse por fatores abióticos prejudica a produção de biomassa nesse estágio inicial da planta como também nos demais estádios, promovendo crescimento limitado dos ramos e caule, reduzindo o número de folhas e a área foliar (SCHWIDER et al., 2013).

Existem inúmeras funções fisiológicas da água sobre o vegetal: atuação como reagente e produto da atividade fotossintética; fonte de elétrons, após a clorofila ser ativada pela luz, com o propósito de produzir energia química; meio de transporte de solutos e gases; atua nos processos de abertura e de fechamento estomáticos; tem influência na divisão e no crescimento celular; afeta a turgescência das raízes e,

conseqüentemente, o aprofundamento das mesmas no solo; afeta a viscosidade e a permeabilidade do protoplasma e a atividade das enzimas envolvidas; é produto final da atividade respiratória; afeta a translocação de assimilados; e atua como tampão de temperatura, absorvendo energia em forma de calor específico e latente (PEREIRA, 2006).

A primeira e mais sensível resposta à deficiência hídrica está na redução da turgescência, que irá ocasionar o fechamento dos estômatos, numa fotossíntese reduzida e num menor alongamento celular (LARCHER, 2006; NOGUEIRA et al., 2005).

O comportamento vegetal passa por alterações em função da deficiência hídrica, da qual sua irreversibilidade dependerá do genótipo, do estágio de desenvolvimento da planta, e da duração e severidade do estresse (SANTOS; CARLESSO, 1998; CAMBRAIA, 2005).

As plantas, quando são expostas à deficiência hídrica, podem desenvolver mecanismo de adaptação morfológica e fisiológica para resistência a seca (LARCHER, 2006). A identificação desses mecanismos pode explicar as causas da resistência à seca de cultivares de mandioca, auxiliando no manejo da cultura e nos programas de melhoramento.

Ainda de acordo com Larcher (2006), todo processo vital tem influência da queda do potencial hídrico, havendo inicialmente a perda de turgescência celular, ocasionando a redução do crescimento; ocorrem também limitações no metabolismo de aminoácidos e proteínas interferindo na divisão celular. As alterações hormonais levam a regulações no funcionamento do aparato estomático, reduzindo as trocas de dióxido de carbono (CO_2), antecipação do processo reprodutivo e aceleração da senescência foliar. Baixos valores de potencial hídrico impedem o processo fotossintético, tanto por prejuízo causado ao transporte de elétrons e à fotofosforilação acíclica, como pelo fechamento estomático.

Plantas não tolerantes, com pouca capacidade de ajustamento osmótico, quando submetidas ao déficit hídrico, fecham os estômatos numa tentativa de restringir a perda de água pela transpiração (NOGUEIRA et al., 2001), refletindo negativamente sobre o processo fotossintético pela diminuição das trocas gasosas (SALES et al., 2012). O estresse hídrico acarreta declínio na taxa de assimilação líquida de CO_2 , entretanto, em condições de estresse moderado as plantas tendem a

manter a fotossíntese constante, enquanto sob estresse hídrico severo essas reduções são mais acentuadas (GONÇALVES et al., 2010).

O controle estomático pode ser considerado como uma resposta bioquímica ao estresse hídrico, pois é resultante da produção de hormônio como o ácido abscísico (ABA) e compostos osmorreguladores (TAIZ; ZEIGER; 2009).

Em condições hídricas adequadas a planta absorve grande quantidade de água, mas perde em torno de 98% através da transpiração, e qualquer alteração no fluxo de água solo-planta-atmosfera prejudica a produção da cultura. Assim, o fechamento estomático é a estratégia mais comumente utilizada pelas plantas para diminuir a taxa de transpiração e manter a turgescência durante as horas mais quentes do dia (CAVALCANTE et al., 2001). Para a redução no fluxo de transpiração também pode haver influência de outros fatores, tais como a reduzida área foliar em decorrência do estresse hídrico e a camada limítrofe que envolve as folhas (GONÇALVES et al., 2010).

O uso do regulador de crescimento vegetal Stimulate® foi estudado em cana-de-açúcar, feijoeiro e até em eucalipto, e foram obtidos resultados favoráveis às culturas, que apresentaram desde melhor stand final de plantas, maiores taxas de fotossíntese líquida, maior matéria seca de plantas, maior número de vagens e entrenós por planta, massa de 1000 grãos, maior altura de plantas e comprimento de raízes e principalmente maior produtividade (ALLEONI et al., 2000; WANDERLEY, 2011; SANTOS et al. 2019).

Baseada nisso, a hipótese dessa dissertação foi que a aplicação do regulador de crescimento vegetal Stimulate® pode beneficiar a mandioca de mesa e aliviar os efeitos negativos do estresse hídrico sobre a cultura e melhorar seus componentes de produção em boa disponibilidade hídrica.

O objetivo desse trabalho foi estudar o efeito do regulador de crescimento vegetal Stimulate® sobre as características fisiológicas e componentes de produção da cultura da mandioca de mesa, variedade IAC 576-70, sob estresse hídrico.

CAPÍTULO 1

FISIOLOGIA DA MANDIOCA SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA E DOSES DE REGULADOR DE CRESCIMENTO VEGETAL

1.1 INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) desempenha um papel essencial na segurança alimentar global, especialmente em países em desenvolvimento, devido à sua capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais. Entretanto, a disponibilidade hídrica é crucial para a produtividade dessa cultura, pois a deficiência de água pode comprometer processos fisiológicos essenciais e reduzir o rendimento das raízes tuberosas. Em regiões com estresse hídrico, compreender os efeitos da falta de água na fisiologia da mandioca é fundamental para desenvolver estratégias que minimizem os impactos na produção.

A deficiência hídrica afeta diretamente o balanço hídrico das plantas, provocando alterações no potencial hídrico foliar e no teor relativo de água nas folhas. Esses parâmetros são essenciais para o funcionamento adequado de processos como a fotossíntese, a transpiração e a troca gasosa. Em condições de seca, a redução da disponibilidade de água no solo prejudica a absorção hídrica pelas raízes, comprometendo a hidratação dos tecidos e o metabolismo das plantas, sendo particularmente prejudicial durante a fase de tuberização, quando a demanda por água é elevada.

Nesse contexto, os reguladores de crescimento vegetal são uma alternativa para mitigar os efeitos da deficiência hídrica em culturas agrícolas. Essas substâncias modulam processos fisiológicos, como a síntese de pigmentos fotossintéticos e a eficiência na utilização da água, favorecendo a adaptação ao estresse hídrico. Estudos indicam que o uso de reguladores vegetais melhora a tolerância à seca, ajudando a manter as funções fisiológicas em condições de baixa disponibilidade hídrica e promovendo a recuperação após a reidratação.

Avaliar parâmetros como o potencial hídrico foliar, o teor relativo de água e as trocas gasosas permite compreender as respostas fisiológicas das plantas frente ao estresse e identificar estratégias para preservar a produtividade.

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma cultura de grande importância socioeconômica, uma vez que as raízes desempenham papel fundamental como fonte de alimento energético para milhões de pessoas ao redor do mundo, principalmente em países em desenvolvimento localizados na África Tropical, Ásia e América do Sul (VIEIRA et al., 2013), sendo cultivada em quase sua totalidade por pequenos agricultores. Devido a esse fato, é comum seu cultivo em solos pobres e sem aplicação de fertilizantes, em pequenas áreas e com baixo grau tecnológico (FELTRAN et al., 2009).

O Brasil, de acordo com o último levantamento, obteve 18,8 milhões de toneladas, com uma área colhida de 1,3 milhões de hectares e produtividade média de 14,35 t ha⁻¹ (FAO, 2019). Essa produtividade é muito aquém do potencial da cultura, que pode chegar a 60 t ha⁻¹, em um ciclo de 8 a 14 meses (COCK, 1990; DEVIDE et al., 2009).

Estudos ao redor do mundo tem investigado desde os incentivos ao cultivo da mandioca (ANGELUCCI, 2013; ASANTE, 2013), a calibração de modelos de uso da água (LEE e DANG, 2019) e de solo (PURNAMASARI, 2019), colocando a cultura como uma das mais importantes na agricultura mundial, devido a seu grande potencial produtivo e importância socioeconômica. Jarvis et al. (2012) analisaram através de modelagem de dados que a cultura da mandioca terá sua produção alterada de -3,7% a +17,5% devido ao aumento de temperatura e CO₂ no continente africano nas próximas três décadas.

Dentre as causas que contribuem para a atual baixa produtividade da mandioca, a falta de água merece maior destaque, pois ocasiona o fechamento estomático, medida protetiva contra a desidratação, mas que também impede o influxo de CO₂ para o processo de fotossíntese. Isso faz com que a energia luminosa que seria utilizada na redução do carbono seja dispersa para o acceptor de elétrons O₂, dando origem às espécies reativas de oxigênio, que por sua vez causam estresse oxidativo no metabolismo das plantas, ou seja, danos ao sistema responsável pela fotossíntese, às membranas das organelas e células e aos pigmentos fotossintetizantes (CALATAYUD, 2000; VERRÍSSIMO, 2010; CRUZ, 2017; ROSA, 2021). Em última instância, tudo isso causa menor assimilação de CO₂ e, por consequência, menor acúmulo de matéria seca e menor produtividade da cultura.

Embora a cultura da mandioca seja considerada tolerante à seca, um período de deficiência hídrica nas fases iniciais pode acarretar menor diferenciação das raízes tuberosas bem como seu enchimento (CONNOR et al., 1981; OLIVEIRA et al., 1992; ZANETTI, 2016). Sob condições de déficit hídrico entre o 1º e o 5º mês após plantio a mandioca pode ter a produção de raízes tuberosas reduzida entre 32 a 60%, chegando a não ter produção de raízes comerciais quando esse estresse ocorre dos 90 aos 180 dias (CONNOR et al., 1981; OLIVEIRA et al., 1992; ALVES, 2002; ZANETTI, 2016; PEREIRA, 2017). Contudo, a irrigação tem possibilitado que a cultura expresse seu potencial produtivo, resultando em incrementos de até 46% na produtividade (SOUZA et al., 2010).

Os reguladores de crescimento vegetal são substâncias conhecidas por alterar e controlar as relações de desenvolvimento e transformações nas plantas. O uso de regulador de crescimento busca favorecer o crescimento e o desenvolvimento vegetal através do estímulo à divisão celular, pela diferenciação e alongamento das células (VIEIRA et al., 2010). Os mais utilizados são constituídos por auxinas, citocininas e giberelinas (CASTRO; VIEIRA, 2001).

Feltran et al. (2009) utilizaram o regulador de crescimento Stimulate[®], composto por 0,09 g L⁻¹ de cinetina, 0,05 g L⁻¹ de ácido giberélico e 0,05 g L⁻¹ de ácido indolbutírico, como tratamento por imersão em manivas-semente de mandioca, cultivar IAC-14, e obtiveram aumento no desenvolvimento radicular, principalmente no comprimento e na superfície de raízes absorventes.

O uso do regulador de crescimento vegetal Stimulate[®] apresentou resultados favoráveis às culturas como feijoeiro e cana-de-açúcar, mesmo em situação de deficiência hídrica, aumentando stand final, taxa de fotossíntese líquida, massa de matéria seca de plantas, número de vagens e entrenós por planta, massa de 1000 grãos e produtividade (ALLEONI et al., 2000; WANDERLEY, 2011).

Em plantas de *Eucalyptus urophylla* sob deficiência hídrica esse regulador de crescimento vegetal resultou em ajuste osmótico, reduzindo o potencial hídrico foliar e o teor relativo de água, e aumentou a fotossíntese líquida, altura de plantas e comprimento de raiz principal (SANTOS et al. 2019).

Dessa forma, tendo em vista a importância socioeconômica do cultivo da mandioca em condições inaptas para a maioria dos outros cultivos, onde a cultura é submetida a períodos frequentes de déficit de água no solo, e que há poucas informações sobre o uso de reguladores vegetais para amenizar os efeitos desse

estresse, estudos mais aprofundados nesta cultura poderão contribuir para melhorar o seu manejo agrícola e aumentar sua produtividade.

A hipótese desse trabalho foi que plantas de mandioca tratadas com o regulador de crescimento vegetal Stimulate® serão mais tolerantes à deficiência hídrica. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação do regulador de crescimento vegetal Stimulate® nas características fisiológicas da mandioca de mesa IAC 576-70 sob deficiência hídrica durante a fase de tuberização.

1.3 MATERIAL E MÉTODOS

1.3.1 Condições de cultivo e tratamentos

O experimento foi realizado em ambiente protegido, localizado na Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) da Universidade Estadual Paulista (UNESP), localizado em Botucatu (22 ° 51'S, 48 ° 26'W e 786 m acima nível do mar) no Estado de São Paulo, Brasil. O ambiente era uma estrutura de madeira e aço galvanizado, com arcos com o pé direito de três metros em uma área total de 120 m² com tecido anti-afídeo de 2 mm de diâmetro nas laterais e plástico transparente de 150 µm no telhado.

O clima da região tem sido caracterizado pela metodologia de Thornthwaite como B2rB3'a', sendo um clima mesotérmico úmido com baixo déficit hídrico (abril, julho e agosto) e uma evapotranspiração potencial de verão de 33%. A temperatura média anual do ar é de 20,3° C, e a média anual a precipitação é de 1428,4 mm (CUNHA e MARTINS, 2009). O solo da área foi classificado como Neossolo textura média (EMBRAPA, 2006).

A cultivar de mandioca de mesa utilizada foi a IAC 576-70, por ser a principal cultivar utilizada no estado de São Paulo e ser considerada padrão comercial, tendo a alta produtividade como principal característica. As raízes possuem película semi-rugosa de coloração marrom a marrom claro e polpa creme, com presença de beta-caroteno, boas características organolépticas e tempo de cozimento considerado médio (LORENZI e DIAS, 1993; MEZETTE et al., 2009).

O plantio foi realizado em 07 de outubro de 2017 utilizando-se manivas de 20 cm e aproximadamente 2,5 cm de diâmetro, com sete a oito gemas, oriundas do terço médio de plantas saudáveis de 12 meses. As manivas-semente foram plantadas em

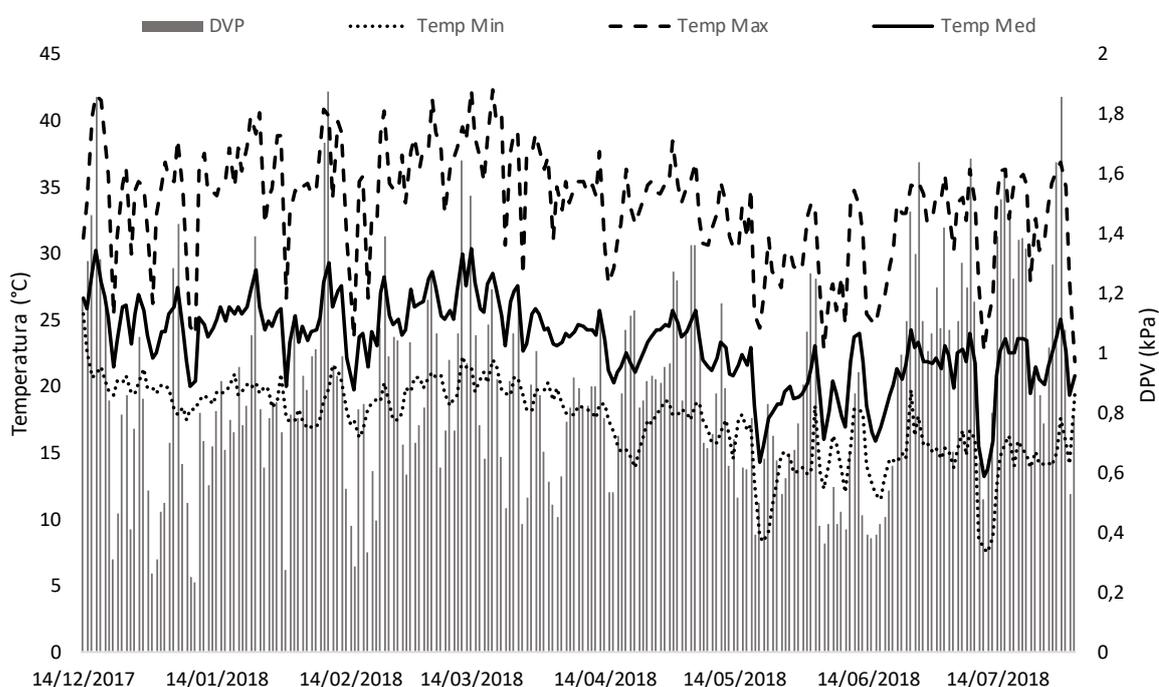
profundidade de aproximadamente cinco centímetros em caixas contendo 0,3 m³ de solo. O solo teve sua acidez previamente corrigida pelo método de saturação de bases para V=70%, igualadas a algumas das parcelas que já estavam nessa condição.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados e em esquema fatorial 4x2, sendo quatro doses de bioestimulante (0, 250, 500 e 1000 mL ha⁻¹) e duas tensões de água no solo (-10 e -70 kPa), com quatro repetições. O regulador vegetal utilizado foi o Stimulate® (Stoller do Brasil Ltda, Campinas, SP, Brasil) constituído por 0,09 g L⁻¹ de cinetina, 0,05 g L⁻¹ de ácido giberélico e 0,05 g L⁻¹ de ácido indol-butírico. A aplicação das doses do regulador vegetal foi via foliar aos 90 dias após o plantio das manivas.

Durante o ciclo da cultura foram coletados dados de temperaturas e umidade relativa do ar com intervalo de leituras de um minuto (Figura 1). Foram aferidas, então, as temperaturas mínima, máxima e média de cada dia, em graus célsios (T_{mín}, T_{máx} e T_{med}, em °C) umidade relativa média do ar (UR_{ar}, em %) e, através desses dados, foi calculado o déficit de pressão de vapor (DPV, em kPa) através da fórmula:

$$DPV = (0,61e^{\frac{(T_{med} \times 17,27)}{(237,3 + T_{med})}}) \times (1 - UR_{ar} \div 100)$$

Figura 1 – Temperaturas mínimas, médias, máximas e DPV da área experimental durante o período de condução do ensaio



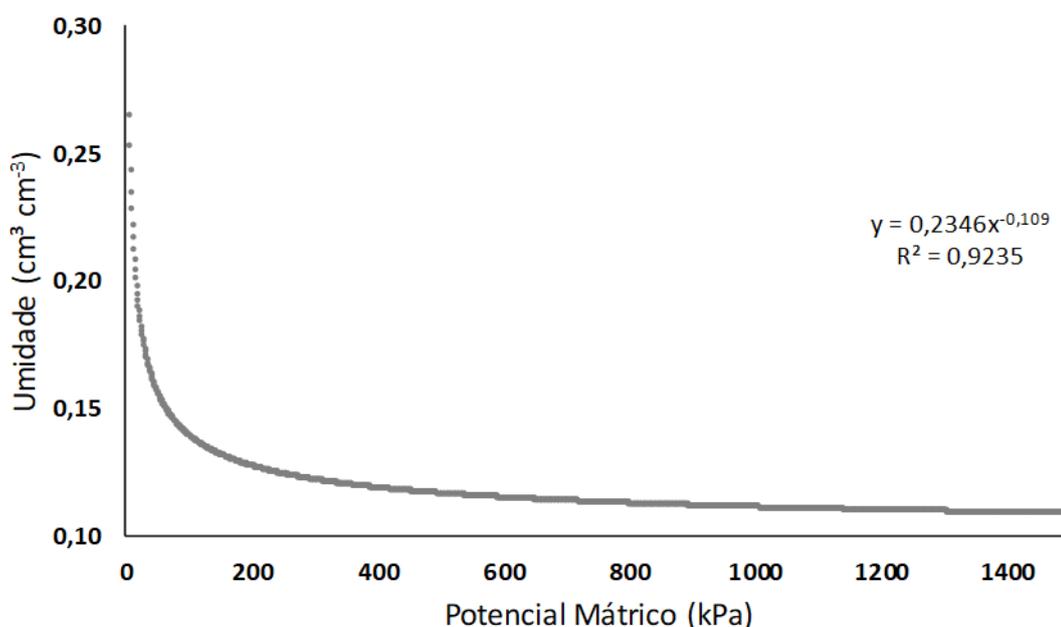
Aos 40 dias após o plantio (DAP) foi feita adubação de cobertura com 40 kg de N ha⁻¹ utilizando-se ureia (45% de N), incorporados ao lado das plantas. Aos 50 DAP foi feito o desbaste das plantas, conduzindo três hastes por caixa.

A irrigação dos vasos foi feita de forma manual com base na curva de retenção de água no solo (Figura 1) através da aferição da tensão de água no solo por meio de tensiômetros de punção a 0,2 m de profundidade no solo. O turno de rega foi diário, mantendo as plantas em condições de umidade próximas à capacidade de campo até a aplicação do tratamento de deficiência hídrica severa, dos 109 aos 140 DAP.

As leituras de tensão de água no solo foram realizadas com o auxílio de tensímetro digital entre as 16 e 17 h foram convertidas em potencial matricial de água no solo (Ψ_m) na unidade de kPa (DOURADO NETO et al., 1995) e posteriormente foi feito o ajuste dos dados de acordo com a curva de retenção de água do solo (Figura 2) (VAN GENUCHTEN, 1980).

As diferentes tensões de água no solo foram escolhidas considerando que a tensão de -10 kPa mantivesse as plantas sob condições de umidade do solo próxima à capacidade de campo e a tensão -70 kPa promovesse deficiência hídrica severa nas plantas.

Figura 2 – Curva de retenção de água no solo da área experimental



Aos 102 DAP, foram aplicadas as doses de regulador vegetal 0, 250, 500 e 1.000 mL ha⁻¹, utilizando-se pulverizador costal de pressão constante (CO₂) com 2 kgf cm⁻². Com objetivo de estudar os efeitos negativos do estresse hídrico na fase de

tuberização, aos 109 DAP foi aplicado o tratamento de deficiência hídrica, baixando-se a tensão de água no solo para -70 KPa até os 137 DAP, momento em que as plantas foram reidratadas, voltando à tensão controle de -10 kPa até a colheita, aos 309 DAP.

1.3.2 Análises fisiológicas

Foram realizadas análises de potencial hídrico foliar (Ψ_{wf}), teor relativo de água nas folhas (TRA), trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a*, índice relativo de clorofila (SPAD), teores de clorofila *a*, *b* e carotenóides, realizadas aos 109 DAP, momento inicial da indução de deficiência hídrica, aos 123 e 137 DAP, em que as plantas estavam sob deficiência hídrica e aos 143 DAP, sete dias após a reidratação das plantas.

1.3.2.1 Potencial hídrico foliar

Para a aferição do potencial hídrico foliar foi utilizada uma câmara de pressão de Scholander (Soil Moisture, Equipment Corporation, Santa Barbara, CA, EUA) com leituras entre 12-13 horas do dia, em folha totalmente expandida do terço médio da planta, com o intuito de verificar o status hídrico da planta no horário de maior demanda de evapotranspiração. As leituras foram consideradas quando houve a equivalência entre a pressão da câmara com a tensão de água na folha, visualizada através da exsudação de uma gotícula de seiva no corte do pecíolo.

1.3.2.2 Teor relativo de água

Para o teor relativo de água (TRA) foram extraídos 10 discos foliares de 0,28 cm² de folhas completamente expandidas do terço médio das plantas e em seguida foi determinada a massa do tecido fresco dos discos em balança analítica de precisão (Shimadzu, BL-3200H, Piracicaba, SP, Brasil). A massa do tecido túrgido foi obtida após a reidratação dos respectivos discos em água deionizada por 24 horas. Para tanto, foi retirado o excesso de água com lenço de papel dos discos saturados para determinar a massa do tecido túrgido. A massa do tecido seco foi obtida através da

pesagem dos discos secos por 48 h a 65° C em estufa de circulação de ar forçada. O TRA foi calculado por intermédio de fórmula:

$$TRA = [(Mf - Ms) / (Mt - Ms)] \times 100$$

Em que: Mf corresponde a massa do tecido fresco; Mt a massa do tecido túrgido; Ms a massa do tecido seco (JAMAUX et al., 1997).

1.3.2.3 Trocas gasosas

Para as análises de trocas gasosas foi utilizado um analisador de gases por infravermelho modelo Li-6400XT com fluorômetro integrado (LI-COR Biosciences Inc., Li-6400xt, Lincoln, NE, EUA). As medidas foram realizadas no horário das 9 às 11 horas da manhã. Todas as medidas foram realizadas com radiação fotossinteticamente ativa constante ($Q = 1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Foram obtidos dados de assimilação líquida de CO_2 (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração intercelular de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$). Pela razão entre os valores de A e C_i foi calculada a eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ CO}_2$) e, entre os valores de A e E , foi calculada a eficiência instantânea do uso da água (EUA, $\text{mmol CO}_2 \text{ H}_2\text{O}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). As avaliações foram realizadas sob variação natural da umidade relativa e da temperatura do ar ao longo do dia. As medidas foram realizadas em folha totalmente expandida, no terço médio das plantas.

1.3.2.4 Pigmentos fotossintéticos

Para a quantificação dos teores de pigmentos fotossintéticos foram utilizados dois discos de matéria fresca do limbo foliar de $0,28 \text{ cm}^2$ cada, os quais foram acondicionados em frascos envoltos com papel alumínio para proteção contra a luz, adicionados em 2 mL de dimetilformamida (DMF) e mantidos por 24 horas em temperatura ambiente para a extração dos pigmentos. Em seguida, foi retirado 1 mL do extrato e diluído em 1 mL de água deionizada para efetuar as leituras de absorbância em espectrofotômetro (Shimadzu, UV-2700, Kyoto, Japão) nos comprimentos de onda 664, 647 e 480 nm, para a determinação dos teores de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides, respectivamente (WELLBURN, 1994).

1.3.3 Análises dos dados

Os dados resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo teste F, estudando-se a interação entre os fatores, e comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade com auxílio do sistema para análise estatística de ensaios agronômicos AgroEstat (BARBOSA e MALDONADO, 2015). Não ocorrendo interação entre os fatores de variação, a comparação de médias foi feita entre as médias dos fatores isolados. Havendo diferença estatística para o fator doses de regulador de crescimento vegetal, foi feita análise de regressão para a aferição da dose de máxima resposta.

1.4 RESULTADOS

1.4.1 Potencial hídrico foliar e teor relativo de água

O potencial hídrico foliar (Ψ_w , MPa) das plantas de mandioca (Tabela 1), na primeira avaliação (109 DAP), uma semana após a aplicação do regulador vegetal, diferiu estatisticamente entre as doses de regulador vegetal, não havendo diferença estatística entre os tratamentos hídricos que iniciaram apenas nessa data nem interação entre os fatores de variação. As plantas controle, sem a aplicação do regulador vegetal, apresentaram maior Ψ_w em comparação com as plantas tratadas com as doses de 500 e 1000 mL ha⁻¹, não diferindo estatisticamente do Ψ_w das plantas tratadas com a dose de 250 mL ha⁻¹.

O Ψ_w (Tabela 1) após duas semanas de deficiência hídrica severa (123 DAP) diferiu estatisticamente entre as tensões de água no solo, não diferindo entre as doses de regulador vegetal e sem a ocorrência de interação entre os dois fatores de variação. Nessa data de avaliação, as plantas em condição de -10 kPa de tensão de água no solo apresentaram maior Ψ_w em comparação com as plantas em deficiência hídrica severa de -70 kPa de tensão de água no solo.

Tabela 1 – Potencial hídrico foliar (Ψ_{wf} , MPa) e teor relativo de água (TRA, %) de plantas de mandioca de mesa (*Manihot esculenta* Crantz), sob duas tensões de água no solo e quatro doses de regulador vegetal

	Ψ_{wf}			TRA			
	-10 kPa	-70 kPa	Média	-10 kPa	-70 kPa	Média	
109 DAP	0 mL ha ⁻¹	-0,120	-0,123	-0,121 a	89,31	89,97	89,64 ns
	250 mL ha ⁻¹	-0,138	-0,140	-0,139 ab	88,48	88,32	88,40 ns
	500 mL ha ⁻¹	-0,163	-0,155	-0,159 c	88,45	89,62	89,04 ns
	1000 mL ha ⁻¹	-0,170	-0,140	-0,155 bc	90,35	92,37	91,36 ns
	Média	-0,148 ns	-0,139 ns		89,15 ns	90,07 ns	
123 DAP	0 mL ha ⁻¹	-0,150	-0,230	-0,190 ns	90,69 Aa	88,17 Aa	89,43
	250 mL ha ⁻¹	-0,145	-0,210	-0,178 ns	86,76 Aab	74,19 Bb	80,47
	500 mL ha ⁻¹	-0,148	-0,198	-0,173 ns	79,61 Ab	74,40 Ab	77,00
	1000 mL ha ⁻¹	-0,140	-0,228	-0,184 ns	85,23 Aab	88,35 Aa	86,79
	Média	-0,146 A	-0,216 B		85,57	81,28	
137 DAP	0 mL ha ⁻¹	-0,250	-0,508	-0,379 ns	84,70 Aa	76,88 Bb	80,79
	250 mL ha ⁻¹	-0,270	-0,520	-0,395 ns	85,06 Aa	80,81 Aab	82,93
	500 mL ha ⁻¹	-0,200	-0,578	-0,389 ns	83,36 Aa	79,84 Aab	81,60
	1000 mL ha ⁻¹	-0,230	-0,628	-0,429 ns	74,17 Bb	85,32 Aa	79,75
	Média	-0,238 A	-0,558 B		81,82	80,71	
144 DAP		-10 kPa	Reidratação		-10 kPa	Reidratação	
	0 mL ha ⁻¹	-0,290 Aa	-0,520 Bb	-0,405	78,49	87,15	82,82 b
	250 mL ha ⁻¹	-0,285 Aa	-0,470 Bb	-0,378	84,92	93,74	89,33 a
	500 mL ha ⁻¹	-0,248 Aa	-0,310 Aa	-0,279	89,36	91,70	90,53 a
	1000 mL ha ⁻¹	-0,290 Aa	-0,418 Bb	-0,354	90,39	92,92	91,65 a
Média	-0,278	-0,429		85,79 B	91,37 A		

Letras maiúsculas comparam os resultados nas colunas, entre os tratamentos hídricos, e letras minúsculas comparam os resultados nas linhas, entre as doses de regulador vegetal, pelo teste de Tukey (p: 0,05).

De forma semelhante, após quatro semanas de deficiência hídrica (137 DAP), o Ψ_{wf} (Tabela 1) diferiu estatisticamente entre as tensões de água no solo, não diferindo entre as doses de regulador vegetal e não apresentando interação entre os dois fatores. Nesse momento, a tensão de -10 kPa novamente proporcionou maior Ψ_{wf} , com média de -0,238 MPa, em detrimento da tensão de -70 kPa, na qual as plantas apresentaram média de -0,558 MPa.

Após a reidratação das plantas por uma semana (143 DAP), o Ψ_{wf} (Tabela 1) apresentou diferença estatística entre os tratamentos formados pelas tensões de água no solo e doses de regulador vegetal, havendo interação entre as fontes de variação. Dentro da tensão de água no solo de -10 kPa, o Ψ_{wf} foi semelhante entre todas as doses e controle. Dentro da tensão de -70 kPa, porém, a dose de 500 mL ha⁻¹

proporcionou maior Ψ_{wf} em comparação com as demais. Dentro das doses de regulador vegetal de 0, 250 e 1000 mL ha⁻¹, houve diferença estatística nas tensões de água no solo, sendo que as plantas que não sofreram deficiência hídrica apresentaram maiores valores de Ψ_{wf} em comparação com as plantas que sofreram e foram reidratadas. Na dose de 500 mL ha⁻¹ do regulador vegetal não houve diferença entre o Ψ_{wf} das plantas em controle hídrico e as reidratadas.

O teor relativo de água foliar das plantas de mandioca (TRA, %) não diferiu estatisticamente entre os tratamentos aos 109 DAP, momento de aplicação do tratamento de deficiência hídrica e uma semana após a aplicação das doses de regulador vegetal (Tabela 1). Isso mostra, assim como o Ψ_{wf} , que as plantas ainda não estavam sob limitação hídrica, porém difere em relação ao efeito do regulador vegetal no estado hídrico das plantas.

Aos 14 dias após a aplicação de deficiência hídrica (123 DAP), houve interação significativa entre os fatores de variação tensão de água no solo e doses de regulador vegetal para o TRA das plantas de mandioca (Tabela 1). Dentro da tensão de água no solo de -10 kPa, as plantas no tratamento de 0 mL ha⁻¹ apresentaram maior TRA, com média de 90,69% do total de água possível na folha e as plantas no tratamento de 500 mL ha⁻¹ o menor TRA, com 79,61%, enquanto as doses de 250 e 1000 proporcionaram TRA intermediário e semelhante aos outros dois tratamentos. Dentro da tensão de -70 kPa as plantas tratadas com as doses controle (0 mL ha⁻¹) e 1000 mL ha⁻¹ tiveram maior TRA, na faixa de 88%, e as doses de 250 e 500 mL ha⁻¹ os menores TRA, na faixa de 74%. Dentro das doses de regulador vegetal, houve diferença do TRA apenas na dose de 250 mL ha⁻¹, em que a tensão de -10 kPa proporcionou maior resultado que a tensão de -70 kPa. Nas demais doses, os resultados foram estatisticamente semelhantes entre as tensões.

Após quatro semanas de deficiência hídrica (137 DAP), novamente houve diferença estatística entre os tratamentos e interação significativa entre os fatores de variação para a variável TRA (Tabela 1). Dentro da tensão de água de -10 kPa, as doses de 0, 250 e 500 mL ha⁻¹ de regulador vegetal proporcionaram maior TRA nas plantas de mandioca, com média de 84,37%, em comparação com a dose de 1000 mL ha⁻¹ que proporcionou o menor TRA (74,17%). Dentro da tensão de água no solo de -70 kPa o tratamento controle (0 mL ha⁻¹) apresentou menor TRA (76,88%) e o tratamento de dose de 1000 mL ha⁻¹ o maior resultado, com 85,32% de TRA. As doses de 250 e 500 mL ha⁻¹ foram intermediárias e estatisticamente semelhantes às demais,

com média de 80,32%. Dentro da dose de 0 mL ha⁻¹ a tensão de água no solo de -10 kPa resultou em maior TRA nas folhas de mandioca (84,70%) que a tensão de -70 kPa (76,88%), enquanto que na dose de 1000 mL ha⁻¹ o efeito foi ao contrário, com maior TRA nas plantas em deficiência hídrica na tensão de -70 kPa (85,32%) em comparação com as plantas em -10 kPa (74,17%). Nas doses de 250 e 500 mL ha⁻¹ não houve diferença significativa de TRA entre as tensões de água no solo.

Ao passar uma semana de reidratação (143 DAP), o TRA (Tabela 1) apresentou diferenças estatísticas entre as tensões de água no solo e entre as doses de regulador vegetal, mas sem interação entre esses fatores de variação. Entre os tratamentos hídricos, as plantas reidratadas apresentaram maior TRA (91,37%) que as plantas que estiveram por todo o período em tensão de água no solo de -70 kPa (85,79%). Entre as doses de regulador vegetal, por sua vez, os tratamentos com 250, 500 e 1000 mL ha⁻¹ tiveram maior TRA (média de 90,50%) que o tratamento controle com 0 mL ha⁻¹ (82,82%).

1.4.2 Trocas gasosas

A assimilação líquida de CO₂ (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 2) apresentou diferença estatística significativa na primeira avaliação (109 DAP) para o fator de variação doses de regulador vegetal, mas não diferiu para o fator tensões de água no solo, uma vez que não havia sido implantado o tratamento de deficiência hídrica) e não apresentou interação entre os fatores de variação. Entre as doses de regulador vegetal estudadas, 0 mL ha⁻¹ proporcionou a maior A (20,27 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), enquanto a dose de 1000 mL ha⁻¹ a menor (18,30 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), sendo as doses de 250 e 500 mL ha⁻¹ semelhantes à essas duas primeiras.

Aos 14 dias após a aplicação de deficiência hídrica (123 DAP) a A mostrou diferença significativa apenas no fator de variação tensões de água no solo (Tabela 2), sem diferir entre as doses de regulador ou havendo interação entre esses dois fatores. A maior taxa de assimilação líquida de CO₂ foi verificada nas plantas sem restrição hídrica, com tensão de água no solo de -10 kPa, tendo média de A de 18,21 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, enquanto as plantas em situação de deficiência hídrica (-70 kPa) tiveram média de A de 4,99 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Tabela 2 – Taxa de assimilação líquida de CO₂ (A, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração interna de CO₂ (Ci, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) de plantas de mandioca de mesa (*Manihot esculenta* Crantz), sob duas tensões de água no solo e quatro doses de regulador vegetal

	A			Ci			
	-10 kPa	-70 kPa	Média	-10 kPa	-70 kPa	Média	
109 DAP	0 mL ha ⁻¹	19,43	21,10	20,27 a	240,84	239,49	240,17 ns
	250 mL ha ⁻¹	18,65	19,37	19,01 ab	245,57	239,58	242,58 ns
	500 mL ha ⁻¹	18,29	19,09	18,69 ab	237,22	236,34	236,78 ns
	1000 mL ha ⁻¹	18,29	18,30	18,30 b	247,42	237,99	242,70 ns
	Média	18,66 ns	19,46 ns		242,76 ns	238,35 ns	
123 DAP	0 mL ha ⁻¹	18,91	4,77	11,84 ns	323,76 Ba	529,25 Aa	426,51
	250 mL ha ⁻¹	18,98	4,95	11,96 ns	322,07 Ba	449,85 Ab	385,96
	500 mL ha ⁻¹	17,35	5,51	11,43 ns	317,46 Ba	450,37 Ab	383,92
	1000 mL ha ⁻¹	17,61	4,72	11,17 ns	329,25 Ba	507,19 Aa	418,22
	Média	18,21 A	4,99 B		323,14	484,17	
137 DAP	0 mL ha ⁻¹	19,79 Aa	8,01 Ba	13,90	250,92 Aa	-446,89 Bc	-97,99
	250 mL ha ⁻¹	18,43 Aa	9,18 Ba	13,80	242,32 Ba	429,73 Aa	336,03
	500 mL ha ⁻¹	19,39 Aa	8,32 Ba	13,85	238,58 Ba	416,54 Aa	327,56
	1000 mL ha ⁻¹	15,54 Ab	7,42 Ba	11,48	256,92 Aa	288,98 Ab	272,95
	Média	18,29	8,23		247,19	172,09	
144 DAP		-10 kPa	Reidratação		-10 kPa	Reidratação	
	0 mL ha ⁻¹	20,00 Aa	17,52 Ab	18,76	267,74	288,20	277,97 ns
	250 mL ha ⁻¹	18,89 Ba	22,87 Aa	20,88	269,17	266,81	267,99 ns
	500 mL ha ⁻¹	18,30 Ba	22,10 Aa	20,20	265,70	278,07	271,88 ns
	1000 mL ha ⁻¹	18,14 Ba	23,81 Aa	20,98	262,20	268,30	265,25 ns
Média	18,83	21,58		266,20 B	275,34 A		

Letras maiúsculas comparam os resultados nas colunas, entre os tratamentos hídricos, e letras minúsculas comparam os resultados nas linhas, entre as doses de regulador vegetal, pelo teste de Tukey (p : 0,05).

Quatro semanas após a instalação da deficiência hídrica nas plantas de mandioca (137 DAP) houve diferença significativa de A entre os tratamentos (Tabela 2), com interação entre os fatores tensões de água no solo e doses de regulador vegetal. Dentro da tensão de água no solo de -10 kPa, a assimilação líquida de CO₂ se mostrou maior nas plantas sem o tratamento com o regulador vegetal e nas doses de 250 e 500 mL ha⁻¹ (média de 19,20 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), em comparação com a dose de 1000 mL ha⁻¹ em que as plantas tiveram menor A (15,54 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). No entanto, na tensão de -70 kPa, todas as doses foram semelhantes, com média de 8,23 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, sem diferença estatística. Por sua vez, dentro de todas as doses do

regulador vegetal, as plantas não submetidas à deficiência hídrica alcançaram maior taxa de assimilação líquida de CO₂, com média de 18,29 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ que as plantas em deficiência hídrica severa.

Após a reidratação das plantas por uma semana (144 DAP), a assimilação líquida de CO₂ (Tabela 2) novamente diferiu estatisticamente entre os tratamentos, com interação significativa entre os fatores de variação estudados. Dentro da tensão de água no solo de -10 kPa, não houve diferença entre as doses de regulador vegetal aplicadas, com média de 18,83 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹. Entre as plantas reidratadas, no entanto, as plantas controle (0 mL ha⁻¹) mostraram menor assimilação líquida de CO₂ (17,52 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) que todas as demais plantas que receberam o regulador vegetal (média de 22,93 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹). Dentro das doses, somente a de 0 mL ha⁻¹ apresentou diferença entre os tratamentos hídricos, com as plantas que não receberam estresse hídrico tendo maior A que as plantas reidratadas. Nas demais doses as plantas reidratadas tiveram A semelhante às plantas mantidas a -10 kPa durante o período.

Não houve diferença entre os tratamentos para a variável concentração interna de carbono na primeira avaliação aos 109 DAP (*C_i*, μmol CO₂ mol⁻¹) (Tabela 2). Na segunda avaliação (123 DAP), após 14 dias de implantação da deficiência hídrica, a *C_i* apresentou interação significativa entre os fatores de variação tensão de água no solo e doses de regulador. Dentro da tensão de água no solo de -10 kPa, a *C_i* foi semelhante, sem diferença estatística em todas as doses de regulador de crescimento vegetal. Dentro da tensão de -70 kPa as plantas com doses de 0 e 1000 ml ha⁻¹ de regulador apresentaram maiores *C_i* em comparação com as plantas com as doses de 250 e 500 mL ha⁻¹. Dentro de todas as doses de regulador vegetal o comportamento foi o mesmo, com as plantas submetidas a deficiência hídrica apresentando maiores *C_i* (484,17 μmol CO₂ mol⁻¹) que as plantas em situação hídrica controle (323,14 μmol CO₂ mol⁻¹).

Quatro semanas após a aplicação de deficiência hídrica (137 DAP) os resultados de concentração interna de CO₂ (Tabela 2) tiveram interação significativa entre os fatores de interação estudados. Dentro da tensão de água no solo de -10 kPa as doses não diferiram estatisticamente, sendo todas semelhantes entre si com média de 247,19 μmol CO₂ mol⁻¹. Dentro da tensão de -70 kPa houve diferença significativa entre as doses de regulador vegetal, com maiores *C_i* nas doses de 250 e 500 mL ha⁻¹ de regulador vegetal, semelhante entre si (média de 423,14 μmol CO₂ mol⁻¹), *C_i*

intermediária ($288,98 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) para a dose de 1000 mL ha^{-1} e a menor C_i nas plantas com dose de 0 mL ha^{-1} de regulador de crescimento. Dentro da dose de 0 mL ha^{-1} as plantas em tensão de água no solo de -10 kPa apresentaram maior C_i que as plantas em estresse hídrico. Dentro das doses de 250 e 500 mL ha^{-1} as plantas em deficiência hídrica mostraram maior C_i que as plantas em situação de boa disponibilidade hídrica. Na dose de 1000 mL ha^{-1} tanto as plantas em -10 kPa quanto as plantas em -70 kPa tiveram C_i estatisticamente semelhantes.

Aos 144 DAP o C_i (Tabela 2) diferiu significativamente apenas entre as plantas submetidas a -10 kPa durante todo o período do experimento e as plantas reidratadas durante uma semana. As plantas reidratadas mostraram maior C_i ($275,34 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) que as plantas que não sofreram deficiência hídrica ($266,20 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$).

A condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 3) variou na primeira avaliação (109 DAP) entre as doses de regulador vegetal aplicadas uma semana antes, sem diferença estatística e interação com os tratamentos hídricos. A dose de 1000 mL ha^{-1} proporcionou os maiores valores de g_s (média de $0,650 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), enquanto a dose de 500 mL ha^{-1} os menores valores de condutância estomática (média de $0,579 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), enquanto as doses de 0 e 250 mL ha^{-1} foram semelhantes a ambas demais doses.

Após duas semanas de deficiência hídrica (123 DAP) houve interação entre os fatores de variação para os valores de g_s (Tabela 3). Dentro da tensão de água no solo de -10 kPa , as doses de 0 , 500 e 1000 mL ha^{-1} proporcionaram maior condutância estomática (entre $0,339$ e $0,350 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Na tensão de água no solo de -70 kPa todas as doses foram estatisticamente semelhantes, com g_s média de $0,067 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Todas as doses apresentaram maior g_s dentro do tratamento hídrico de -10 kPa de tensão de água no solo, com média de $0,333 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Também aos 137 DAP, após quatro semanas de deficiência hídrica severa, houve interação e diferença estatística entre os tratamentos para a condutância estomática (Tabela 3). Dentro do tratamento com tensão de água no solo de -10 kPa , as plantas em que foram aplicadas as doses de 250 e 500 mL ha^{-1} apresentaram maior g_s , enquanto as plantas sem o regulador de crescimento vegetal apresentaram a menor g_s . No tratamento de -70 kPa todas as doses foram estatisticamente semelhantes.

Tabela 3 – Condutância estomática (gs , mol H₂O m⁻² s⁻¹), taxa de transpiração (E , mmol H₂O m⁻² s⁻¹) e eficiência do uso da água (EUA , mmol CO₂ H₂O⁻¹ m⁻² s⁻¹) de plantas de mandioca de mesa (*Manihot esculenta* Crantz), sob duas tensões de água no solo e quatro doses de regulador vegetal

	<i>gs</i>			<i>E</i>			<i>EUA</i>			
	-10 kPa	-70 kPa	Média	-10 kPa	-70 kPa	Média	-10 kPa	-70 kPa	Média	
109 DAP	0 mL ha ⁻¹	0,601	0,629	0,615 ab	7,32	7,95	7,64 ns	2,70	2,68	2,69 ns
	250 mL ha ⁻¹	0,650	0,621	0,636 ab	7,63	7,42	7,53 ns	2,48	2,63	2,56 ns
	500 mL ha ⁻¹	0,576	0,583	0,579 b	6,66	7,48	7,07 ns	2,76	2,56	2,66 ns
	1000 mL ha ⁻¹	0,659	0,642	0,650 a	7,94	7,40	7,67 ns	2,34	2,54	2,44 ns
	Média	0,622 ns	0,619 ns		7,39 ns	7,56 ns		2,57 ns	2,60 ns	
123 DAP	0 mL ha ⁻¹	0,339 Aa	0,061 Ba	0,200	5,12	1,84	3,48 ns	3,76	2,65	3,21 ns
	250 mL ha ⁻¹	0,303 Ab	0,070 Ba	0,187	5,31	1,90	3,60 ns	3,63	2,61	3,12 ns
	500 mL ha ⁻¹	0,350 Aa	0,071 Ba	0,210	5,30	1,84	3,57 ns	3,45	2,99	3,22 ns
	1000 mL ha ⁻¹	0,340 Aa	0,066 Ba	0,203	5,18	2,22	3,70 ns	3,43	2,46	2,95 ns
	Média	0,333	0,067		5,23 A	1,95 B		3,57 A	2,68 B	
137 DAP	0 mL ha ⁻¹	0,192 Ab	0,097 Ba	0,144	3,87	0,88	2,38 ns	5,40	9,09	7,25 ns
	250 mL ha ⁻¹	0,240 Aa	0,088 Ba	0,164	5,64	0,74	3,19 ns	3,27	12,96	8,12 ns
	500 mL ha ⁻¹	0,253 Aa	0,087 Ba	0,170	4,96	0,96	2,96 ns	3,94	8,98	6,46 ns
	1000 mL ha ⁻¹	0,228 Aab	0,076 Ba	0,152	4,41	0,57	2,49 ns	3,81	11,92	7,87 ns
	Média	0,228	0,087		4,72 A	0,79 B		4,11 B	10,74 A	
144 DAP		-10 kPa	Reidratação		-10 kPa	Reidratação		-10 kPa	Reidratação	
	0 mL ha ⁻¹	0,215	0,419	0,317 ns	6,04	7,79	6,91 ns	3,35	2,26	2,81 ns
	250 mL ha ⁻¹	0,194	0,406	0,300 ns	5,00	7,84	6,42 ns	3,82	2,94	3,38 ns
	500 mL ha ⁻¹	0,246	0,500	0,373 ns	5,08	8,42	6,75 ns	3,61	2,64	3,13 ns
	1000 mL ha ⁻¹	0,199	0,421	0,310 ns	4,96	8,23	6,59 ns	3,89	2,97	3,43 ns
Média	0,214 B	0,436 A		5,27 B	8,07 A		3,67 A	2,70 B		

Letras maiúsculas comparam os resultados nas colunas, entre os tratamentos hídricos, e letras minúsculas comparam os resultados nas linhas, entre as doses de regulador vegetal, pelo teste de Tukey (p : 0,05).

Dentro das doses de regulador de crescimento vegetal, todas as plantas em boas condições hídricas (-10 kPa) tiveram maior gs em comparação com as plantas em deficiência hídrica severa (-70 kPa). Aos 144 DAP, porém, as plantas que foram reidratadas durante sete dias apresentaram maior condutância estomática (Tabela 3) em comparação com as plantas mantidas em condições ótimas de umidade durante todo o período do ensaio, com gs média de 0,436 mol H₂O m⁻² s⁻¹ contra 0,214 mol H₂O m⁻² s⁻¹. As doses de regulador vegetal foram semelhantes umas às outras, sem diferença estatística. Isso pode indicar que a recuperação das plantas de mandioca anteriormente em situação de estresse hídrico ocorreu devido a mecanismos próprios da espécie, uma vez que as plantas tratadas com o regulador de crescimento vegetal não mostraram diferença das plantas não tratadas no período de deficiência hídrica e após a reidratação.

As taxas de transpiração (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 3) das plantas de mandioca não diferiram estatisticamente na primeira avaliação, aos 109 DAP, entre os tratamentos de umidade do solo e doses de regulador vegetal, sem interação entre os fatores de variação.

Aos 123 e aos 137 DAP, as taxas de E (Tabela 3) diferiram estatisticamente para o fator de variação tensão de água no solo e não diferiram para as doses de regulador vegetal estudadas. Nessas datas de avaliação, acompanhando os resultados obtidos para o g_s , as plantas na tensão de água no solo de -10 kPa apresentaram maiores taxas de E em comparação com as plantas submetidas a tensão de -70 kPa de água no solo.

Após uma semana de reidratação, no entanto, as plantas de mandioca que haviam sofrido deficiência hídrica apresentaram maior E (Tabela 3) em comparação àquelas que não sofreram prévia exposição à deficiência hídrica, no tratamento de tensão de -10 kPa de água no solo, diferindo estatisticamente. Novamente o comportamento da variável E se assemelhou ao da g_s , mostrando a recuperação das funções hídricas relacionadas à fotossíntese das plantas de mandioca. Em nenhuma das avaliações houve diferença estatística entre as doses de regulador vegetal estudadas para a variável taxa de transpiração.

A eficiência do uso da água (EUA , $\text{mmol H}_2\text{O}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) das plantas de mandioca não diferiu estatisticamente na primeira data de avaliação, aos 109 DAP (Tabela 3). Após duas semanas (123 DAP) de submissão das plantas ao tratamento de deficiência hídrica (-70 kPa), no entanto, houve diminuição da EUA em comparação com as plantas em tratamento hídrico controle (-10 kPa).

Na terceira avaliação (137 DAP) é interessante notar que as plantas em deficiência hídrica severa apresentaram EUA estatisticamente maior em comparação com as plantas controle (Tabela 3). No entanto, isso não se deve ao aumento da capacidade fotossintética, mas a grande diminuição da transpiração nesse período, elevando assim a EUA . *Isso evidencia que após um mês de deficiência hídrica as plantas de mandioca foram capazes de adaptar seu metabolismo fotossintético para contornar a perda de água, diminuindo a transpiração relativamente à sua capacidade de assimilação de carbono.*

Aos 144 DAP, uma semana após a reidratação das plantas, o que se observou foi o retorno da EUA ao patamar das avaliações iniciais, sendo novamente estatisticamente menor que as plantas em tratamento hídrico controle (Tabela 3). *Isso*

se deve ao aumento da *E* das plantas reidratadas em relação às controle, uma vez que também suas taxas de *A* foram superiores. Em nenhuma das avaliações houve diferença estatística para o fator de variação das doses de regulador vegetal para a *EUA*.

1.4.3 PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS

Os teores de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides ($\mu\text{g cm}^{-2}$) das plantas de mandioca não diferiram estatisticamente nas avaliações prévias à deficiência hídrica (109 DAP) e após duas semanas de estresse (123 DAP), demonstrando a capacidade de a cultura suportar períodos de estresse hídrico sem haver a degradação de clorofilas e carotenoides (Tabela 4).

Tabela 4 – Teores de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides ($\mu\text{g cm}^{-2}$) de plantas de mandioca de mesa (*Manihot esculenta* Crantz), sob duas tensões de água no solo e cinco doses de regulador vegetal

	Clorofila <i>a</i>			Clorofila <i>b</i>			Carotenoides			
	-10 kPa	-70 kPa	Média	-10 kPa	-70 kPa	Média	-10 kPa	-70 kPa	Média	
109 DAP	0 mL ha ⁻¹	34,14	33,46	33,80 ns	11,74	11,48	11,61 ns	6,86	6,70	6,78 ns
	250 mL ha ⁻¹	31,24	33,79	32,52 ns	10,87	11,99	11,43 ns	6,31	6,77	6,54 ns
	500 mL ha ⁻¹	36,10	36,01	36,05 ns	14,49	13,10	13,80 ns	6,93	7,15	7,04 ns
	1000 mL ha ⁻¹	29,18	37,58	33,38 ns	10,31	13,00	11,65 ns	5,85	7,46	6,66 ns
	Média	32,66 ns	35,21 ns		11,85 ns	12,39 ns		6,49 ns	7,02 ns	
123 DAP	0 mL ha ⁻¹	26,90	28,45	27,68 ns	11,93	15,43	13,68 ns	5,57	4,92	5,24 ns
	250 mL ha ⁻¹	27,11	23,06	25,08 ns	13,20	12,58	12,89 ns	5,25	4,44	4,85 ns
	500 mL ha ⁻¹	32,23	29,64	30,93 ns	15,77	13,53	14,65 ns	5,95	6,01	5,98 ns
	1000 mL ha ⁻¹	27,76	27,61	27,68 ns	12,77	13,11	12,94 ns	5,29	5,58	5,44 ns
	Média	28,50 ns	27,19 ns		13,42 ns	13,66 ns		5,52 ns	5,24 ns	
137 DAP	0 mL ha ⁻¹	22,99 Aa	19,41 Bab	21,20	9,04 Ab	8,26 Aa	8,65	5,24 Aa	4,29 Ba	4,77
	250 mL ha ⁻¹	23,85 Aa	17,13 Bab	20,49	9,34 Aa	7,95 Aa	8,64	5,10 Aa	4,28 Ba	4,69
	500 mL ha ⁻¹	28,26 Aa	15,56 Bb	21,91	11,00 Aa	7,21 Ba	9,11	5,79 Aa	3,85 Ba	4,82
	1000 mL ha ⁻¹	24,00 Aa	20,97 Aa	22,48	9,14 Aa	8,49 Aa	8,82	5,00 Aa	4,61 Aa	4,81
	Média	24,77	18,27		9,63	7,98		5,28	4,26	
144 DAP		-10 kPa	Reidratação		-10 kPa	Reidratação		-10 kPa	Reidratação	
	0 mL ha ⁻¹	20,13	16,27	18,20 ns	9,16	7,63	8,39 ns	4,30	4,20	4,25 ns
	250 mL ha ⁻¹	18,88	13,64	16,26 ns	8,68	6,67	7,67 ns	4,35	3,81	4,08 ns
	500 mL ha ⁻¹	18,28	12,82	15,55 ns	9,10	6,56	7,83 ns	4,20	3,59	3,89 ns
	1000 mL ha ⁻¹	18,02	14,42	16,22 ns	8,98	7,62	8,30 ns	3,74	3,96	3,85 ns
Média	18,83 A	14,29 B		8,98 A	7,12 B		4,15 ns	3,89 ns		

Letras maiúsculas comparam os resultados nas colunas, entre os tratamentos hídricos, e letras minúsculas comparam os resultados nas linhas, entre as doses de regulador vegetal, pelo teste de Tukey ($p: 0,05$).

Houve diferença entre os tratamentos apenas após quatro semanas de deficiência hídrica (137 DAP), em que a dose de 1000 mL ha⁻¹ de regulador vegetal

proporcionou resultados semelhantes aos tratamentos em capacidade de campo para a clorofila *a* (TABELA 4). Nas demais doses de regulador vegetal as plantas em -10 kPa apresentaram maiores teores de clorofila *a*. Dentro dessa tensão de água no solo, não houve diferença entre as doses de regulador vegetal. Já dentro da tensão de -70 kPa, a dose de 1000 mL ha⁻¹ possibilitou o maior teor de clorofila *a* e 500 mL ha⁻¹ o menor.

Aos 137 DAP todas as doses de regulador vegetal aumentaram o conteúdo de clorofila *b* nas plantas em capacidade de campo, já no tratamento de deficiência hídrica não houve diferença entre as doses (Tabela 4). Dentro das doses, houve diferença significativa apenas na dose de 500 mL ha⁻¹, com a tensão de água no solo de -10 kPa proporcionando maior teor de clorofila *b*. Esse comportamento ocorreu devido ao aumento do teor de clorofila *b* no tratamento de umidade controle pela dose de 500 mL ha⁻¹, não pela degradação da clorofila no tratamento estressado de mesma dose de regulador vegetal.

Os carotenoides das plantas de mandioca apresentaram diferenças dentro das doses 0, 250 e 500 mL ha⁻¹ de regulador vegetal, sendo as plantas em capacidade de campo as de maiores teores (Tabela 4). Porém na dose de 1000 mL ha⁻¹ as plantas tiveram teores de carotenoides semelhantes. Dentro das tensões de água no solo, por sua vez, as doses não diferiram entre si.

As plantas de mandioca reidratadas durante uma semana (144 DAP) apresentaram menores teores de clorofila *a* e de clorofila *b*, em comparação às plantas que não sofreram deficiência hídrica anteriormente (Tabela 4). Nessa avaliação não houve diferença entre as doses de regulador vegetal estudadas e os teores de carotenoides não diferiram para nenhum tratamento.

A relação de clorofilas *a* e *b* (*Cl_a/Cl_b*) diferiu aos 123 e aos 137 DAP entre as tensões de água no solo, sendo maior para as plantas de mandioca em capacidade de campo (Tabela 5). Aos 137 DAP houve diferença de *Cl_a/Cl_b* entre as doses de regulador vegetal, tendo as plantas tratadas com a dose de 1000 mL ha⁻¹ maior *Cl_a/Cl_b* (média de 2,55), porém estatisticamente semelhante ao tratamento controle (média de 2,45). Aos 144 DAP não houve diferença na relação *Cl_a/Cl_b* das plantas de mandioca para nenhum tratamento.

Os teores de clorofila totais das plantas de mandioca, à semelhança da relação *Cl_a/Cl_b*, também não diferiu estatisticamente nas avaliações aos 109 e 123 DAP para nenhum tratamento (Tabela 5).

Aos 137 DAP, quatro semanas após o início do déficit hídrico, os teores de clorofilas totais apresentaram diferença significativa, com interação entre os fatores de variação. Nessa data, dentro das tensões de água no solo -10 kPa e -70 kPa, respectivamente, todas as doses tiveram teores de clorofilas totais semelhantes. Dentro das doses de regulador vegetal de 0 a 500 mL ha⁻¹, as plantas em -70 kPa tiveram menores teores de clorofilas totais, porém dentro da dose de 1000 mL ha⁻¹ as plantas nas duas tensões de água tiveram seus teores de clorofilas totais estatisticamente semelhantes, com média de 31,3 µg cm⁻².

Tabela 5 – Relação entre clorofila a e clorofila b e teor de clorofila total (µg cm⁻²) de plantas de mandioca de mesa (*Manihot esculenta* Crantz), sob duas tensões de água no solo e cinco doses de regulador vegetal

		Cl a / Cl b			Clorofila Total		
		-10 kPa	-70 kPa	Média	-10 kPa	-70 kPa	Média
109 DAP	0 mL ha ⁻¹	2,91	2,90	2,91 ns	45,88	44,94	45,41 ns
	250 mL ha ⁻¹	2,87	2,81	2,84 ns	42,11	45,78	43,94 ns
	500 mL ha ⁻¹	2,62	2,75	2,68 ns	50,59	49,11	49,85 ns
	1000 mL ha ⁻¹	2,83	2,88	2,86 ns	39,48	50,58	45,03 ns
	Média	2,81 ns	2,84 ns		44,52 ns	47,60 ns	
123 DAP	0 mL ha ⁻¹	2,25	1,93	2,09 ns	38,83	43,88	41,35 ns
	250 mL ha ⁻¹	2,05	1,85	1,95 ns	40,31	35,64	37,97 ns
	500 mL ha ⁻¹	2,04	2,19	2,12 ns	47,99	43,17	45,58 ns
	1000 mL ha ⁻¹	2,17	2,11	2,14 ns	40,53	40,72	40,62 ns
	Média	2,13 ns	2,02 ns		41,91 ns	40,85 ns	
137 DAP	0 mL ha ⁻¹	2,54	2,35	2,45 ab	32,03 Aa	27,68 Ba	29,85
	250 mL ha ⁻¹	2,55	2,15	2,35 b	33,18 Aa	25,09 Ba	29,13
	500 mL ha ⁻¹	2,57	2,16	2,36 b	39,25 Aa	22,77 Ba	31,01
	1000 mL ha ⁻¹	2,63	2,47	2,55 a	33,14 Aa	29,46 Aa	31,30
	Média	2,57 A	2,28 B		34,40	26,25	
144 DAP		-10 kPa	Reidratação		-10 kPa	Reidratação	
	0 mL ha ⁻¹	2,20	2,13	2,17 ns	29,29	23,90	26,60 ns
	250 mL ha ⁻¹	2,18	2,05	2,11 ns	27,56	20,31	23,93 ns
	500 mL ha ⁻¹	2,01	1,95	1,98 ns	27,38	19,37	23,38 ns
	1000 mL ha ⁻¹	2,01	1,89	1,95 ns	27,00	22,04	24,52 ns
Média	2,10 ns	2,01 ns		27,81 A	21,41 B		

Letras maiúsculas comparam os resultados nas colunas, entre os tratamentos hídricos, e letras minúsculas comparam os resultados nas linhas, entre as doses de regulador vegetal, pelo teste de Tukey (p : 0,05).

Após a reidratação das plantas, os teores de clorofilas totais tiveram diferença significativa entre as tensões de água no solo (Tabela 5), sendo a média na tensão de

-10 kPa de 27,81 $\mu\text{g cm}^{-2}$ e média de 21,41 $\mu\text{g cm}^{-2}$ para as plantas reidratadas. Não houve diferença significativa entre as doses de regulador vegetal na avaliação aos 144 DAP.

1.5 DISCUSSÃO

É sabido que a água é um dos principais fatores limitantes das atividades fisiológicas das plantas. Assim como observado nesse trabalho, a diminuição do potencial hídrico do solo, normalmente acarreta numa diminuição do potencial hídrico das folhas das plantas de mandioca, as quais possuem grande sensibilidade aos fatores estressantes, o que envolve a baixa umidade relativa do ar e altas temperaturas (IKE, 1982; EL-SHARKAWY e COCK, 1984; COCK et al., 1985).

Diversos estudiosos obtiveram resultados em que o potencial hídrico das plantas de mandioca não foram alterados de acordo com as condições de deficiência hídrica impostas, levando-os a concluírem que a cultura tem alta capacidade de ajustamento osmótico, fazendo com que as plantas se adaptem e entrem em equilíbrio com o potencial do solo e se mantenham fotossinteticamente ativas durante os períodos de estresse (TAFUR *et al.*, 1997; ALVES e SETTER, 2004; EL-SHARKAWY, 2012; TURVAGYENDA *et al.*, 2013; PEREIRA, 2017).

No entanto, essa não observação de alterações no potencial hídrico foliar pode ser explicada pelo horário de mensuração dessa variável, visto que quando essas análises ocorrem no horário de pré-manhã (4 - 7 h) as plantas puderam recuperar sua turgescência durante a noite e não apresentar contraste em relação aos tratamentos controle. Já nas medidas realizadas durante o período de maior demanda de evapotranspiração (12h) é possível verificar com maior facilidade as diferenças entre os estados hídricos das plantas, como foi observado no presente trabalho.

Destaca-se a dose de 500 mL ha⁻¹ do regulador vegetal como a que proporcionou uma melhor manutenção do Ψ_w foliar das plantas de mandioca, independentemente se anteriormente em deficiência hídrica ou não. Esse efeito pode ter ocorrido por um possível aumento de enzimas como α -amilase provocado pelo ácido giberélico e alterações nas relações fonte-dreno entre as folhas e outras partes da planta, em decorrência da citocinina, fazendo com que houvesse um ajustamento osmótico das folhas (KERBAUY, 2008; TAIZ E ZEIGER, 2017).

Através da fotossíntese, os organismos clorofilados, dentre os quais as plantas são o grupo mais relevante, fazem a conversão de CO₂ e água, através da luz captada, formar açúcares e, através desses produzir os diversos compostos orgânicos necessários à vida, como lipídios e proteínas (KERBAUY, 2008; LOPES e LIMA, 2015). A assimilação líquida de CO₂ das plantas de mandioca anteriormente aos tratamentos encontravam-se de acordo com o esperado para as condições de casa de vegetação (FIGURA 2), assim como o apresentado em outros trabalhos em condições semelhantes, não mudando após a aplicação das doses de regulador vegetal (MAHON *et al*, 1977; EDWARDS *et al*, 1990; SILVEIRA *et al*, 2013).

A diminuição da assimilação líquida de CO₂ nas plantas submetidas à tensão de água no solo de -70 KPa (FIGURA 4) está diretamente relacionada à diminuição do potencial hídrico das folhas, condição em que os estômatos perdem sua turgescência e ocorre a diminuição da condutância estomática (TAIZ E ZEIGER, 2017).

Após três dias de reidratação das plantas, no entanto, as taxas de assimilação das plantas voltaram a valores normais, enquanto a condutância estomática permaneceu baixa até mesmo para as plantas controle (FIGURA 4). Esse fato mostra uma capacidade das plantas de mandioca se recuperarem de uma condição extrema de deficiência hídrica, elevando sua captura de CO₂ mantendo sua perda de água pela transpiração baixa, elevando assim a sua eficiência de uso da água para a fotossíntese como estratégia de sobrevivência (EL-SHARKAWY e COCK, 1984; COCK *et al.*, 1985). Essa recuperação das plantas de mandioca faz justiça à fama de a cultura ser resistente à seca.

Pode-se interpretar que a concentração interna de CO₂ foi negativa para as plantas em estresse e sem a presença do regulador vegetal devido à sua menor condutância estomática, o que impossibilitou a entrada do dióxido de carbono nos espaços intercelulares da folha. Já os valores negativos de C_i no dia 140 DAP são relacionados ao alto consumo do dióxido de carbono pelas plantas que apresentavam elevadas taxas de assimilação

Os teores de pigmentos fotossintéticos (TABELA 1), mostraram um decaimento devido à senescência natural das plantas ao longo das avaliações. Aos 15 dias de estresse, houve diminuição dos teores de clorofilas *a*, *b* e carotenoides, semelhante aos resultados de Lemos *et al* (2010) estudando estresse hídrico em plantas de *Bernardia sidoides* Müll. Arg., uma espécie Euphorbiaceae, mas ao contrário do que foi estudado em condições semelhantes na cultura da mandioca, bem como para o

pinhão-manso, outra cultura da família Euphobiaceae (POMPELLI et al., 2010; PEREIRA, 2017).

É importante ressaltar o efeito da dose de 1000 mL ha⁻¹ do regulador vegetal, a qual fez com que as plantas em estresse hídrico apresentassem resultados semelhantes aos das plantas em capacidade de campo. Efeitos positivos de regulador vegetal sobre os teores de pigmentos fotossintéticos foram verificados para mudas de tangerineira (SOUZA et al., 2013). A citocinina é um dos hormônios responsáveis pela manutenção do teor de clorofila, evitando sua degradação (DAVIES, 2004).

1.6 CONCLUSÕES

Houve efeito dos fatores sobre as variáveis fisiológicas fotossintéticas, sendo efeito negativo no desempenho fotossintético das plantas no período de deficiência hídrica, porém os efeitos do regulador vegetal foram inconsistentes entre as características avaliadas. De forma geral, houve recuperação das características fisiológicas das plantas após a reidratação. A deficiência hídrica afeta a fisiologia das plantas de mandioca na fase de desenvolvimento dos ramos e folhas, porém com boa recuperação.

REFERÊNCIAS

ALVES, Alfredo Augusto Cunha et al. Cassava botany and physiology. **Cassava: biology, production and utilization**, v. 1, p. 67-89, 2002.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos. **Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp**, 2010.

COCK, James H.; PORTO, Mario; EL-SHARKAWY, Mabrouk A. Water Use Efficiency of Cassava. III. Influence of Air Humidity and Water Stress on Gas Exchange of Field Grown Cassava 1. **Crop Science**, v. 25, n. 2, p. 265-272, 1985.

DAVIES, P.J. Plant hormones: biosynthesis, signal transduction, action. 3.ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004. 750p

Dourado Neto, D., Nielsen, D.R., Hopans, J.W., Parlange, M.B., 1995. Programa SWRC, Version 3.0: Soil-Water Retention Curve (Software). Piracicaba, Davis.

EL-SHARKAWY, Mabrouk A.; COCK, James H. Response of cassava to water stress. **Plant and Soil**, v. 100, n. 1-3, p. 345-360, 1987.

FAO. **Food and agriculture organization of the United Nations**. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E>>. Acesso em: 19 de Agosto de 2019.

FELTRAN, José Carlos; VALLE, Teresa Losada; GALERA, J. M. S. V. Efeito de regulador vegetal (Stimulate®) no desenvolvimento radicular da mandioca de indústria variedade IAC-14. In: **XIII Congresso Brasileiro de Mandioca, Botucatu. Anais, Unesp**. 2009. p. 1-3.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Rio de Janeiro: LSPA, Estatística da Produção Agrícola: janeiro de 2017, 72 p. 2017.

IKE, I. F. Effect of water deficits on transpiration, photosynthesis and leaf conductance in cassava. **Physiologia Plantarum**, v. 55, n. 4, p. 411-414, 1982.

JAMAUX, I.; STEINMETZ, A.; BELHASSEN, E. Looking for molecular and physiological markers of osmotic adjustment in sunflower. *New Phytologist*, Oxford, v. 137, p. 117-127, 1997.

KERBAUY, G. B. Fisiologia vegetal. 431 p. 2008.

LEMOS, Alba OLIVEIRA et al. Respostas ecofisiológicas de *Bernardia sidoides* Müll. Arg. ao estresse hídrico. **Revista de Geografia (Recife)-ISSN: 0104-5490**, v. 28, n. 1, p. 149-160, 2011.

LOPES, N. F.; LIMA, MG de S. Fisiologia da produção. **Viçosa: Editora UFV**, 2015.

Lorenzi, J. O.; DIAS, C. A. C. **Cultura da mandioca**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1993. 41p.

MEZETTE, Thiago Fonseca et al. Seleção de clones-elite de mandioca de mesa visando a características agronômicas, tecnológicas e químicas. **Bragantia**, v. 68, n. 3, p. 601-609, 2009.

PEREIRA, Laís Fernanda Melo. Aspectos fisiológicos e bioquímicos da mandioca cultivada sob deficiência hídrica em diferentes fases de desenvolvimento. 2017.

SOUZA, Jackyson Mirellys Azevedo et al. Efeito de regulador vegetal no desenvolvimento inicial de plântulas do porta-enxerto cítrico tangerineira 'Cleópatra'. **Scientia Plena**, p. 1-8, 2013.

SOUZA, Myrne Jamilly Lima et al. Características agronômicas da mandioca relacionadas à interação entre irrigação, épocas de colheita e cloreto de mepiquat. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 1, 2010.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

Turyagyenda L.F., Kizito, E.B., Ferguson, M., Baguma, Y., Agaba, M., Harvey, J.J.W., Osiru, D.S.O., 2013. Physiological and molecular characterization of drought responses and identification of candidate tolerance genes in cassava. *AoB Plants* 5, 1–17.

Van Genuchten, M.T.H., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of insaturated. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41, 892–898.

Vieira, E. L.; Castro, P. R. **Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical**. Guaíba, BR: Editora Agropecuária, 2001.

VIEIRA, Eduardo Alano et al. Caracterização fenotípica e molecular de acessos de mandioca de indústria com potencial de adaptação às condições do cerrado do Brasil Central. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, 2013.

WANDERLEY FILHO, Humberto Cristiano de Lins. Uso de regulador vegetais e enraizadores no crescimento inicial e tolerância à seca em cana-de-açúcar. 2011. 47 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) - Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2011.

WELLBURN, Alan R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of plant physiology**, v. 144, n. 3, p. 307-313, 1994.

CAPÍTULO 2

COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE MANDIOCA SOB ESTRESSE HÍDRICO E DOSES DE REGULADOR VEGETAL

2.1 INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) desempenha um papel essencial na segurança alimentar global, especialmente em países em desenvolvimento, devido à sua capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais. Entretanto, a disponibilidade hídrica é crucial para a produtividade dessa cultura, pois a deficiência de água pode comprometer processos fisiológicos essenciais e reduzir significativamente o rendimento das raízes tuberosas. Em regiões com estresse hídrico, compreender os efeitos da falta de água na fisiologia e nos componentes de produção da mandioca é fundamental para desenvolver estratégias que minimizem os impactos na produtividade e qualidade das raízes.

A deficiência hídrica afeta diretamente o balanço hídrico das plantas, provocando alterações no potencial hídrico foliar e no teor relativo de água nas folhas. Esses parâmetros são essenciais para o funcionamento adequado de processos como a fotossíntese, a transpiração e a troca gasosa. Em condições de seca, a redução da disponibilidade de água no solo prejudica a absorção hídrica pelas raízes, comprometendo a hidratação dos tecidos e o metabolismo das plantas. Tais alterações são especialmente prejudiciais durante a fase de tuberização, período em que a demanda por água é elevada para o crescimento e desenvolvimento das raízes tuberosas comerciais.

Os reguladores de crescimento vegetal surgem como uma alternativa promissora para minimizar os efeitos deletérios da deficiência hídrica em culturas agrícolas. Essas substâncias modulam processos fisiológicos, como a síntese de pigmentos fotossintéticos e a eficiência na utilização da água, favorecendo a adaptação das plantas ao estresse hídrico. A avaliação detalhada dos componentes de produção em resposta ao uso desses reguladores é essencial para validar sua eficácia na mitigação dos impactos da seca e para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

2.2 REVISÃO DE LITERATURA

Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma cultura de grande importância socioeconômica e suas raízes desempenham um papel fundamental como fonte primária de carboidratos para grande parte da população mundial, especialmente em países subdesenvolvidos localizados na África tropical, Ásia e América do Sul (VIEIRA et al., 2013). Considerada uma cultura de subsistência, seu cultivo é feito majoritariamente por pequenos agricultores e, devido a esse fato, é comum sua instalação em áreas marginais, com solos pobres e sem aplicação de fertilizantes, em pequenas áreas com baixo grau tecnológico (FELTRAN et al., 2009).

Atualmente, o Brasil é o quarto maior produtor de mandioca (FAO, 2017), com produção total de 20,1 milhões de toneladas, sendo os estados do Pará (6 milhões de toneladas), do Paraná (3,7 milhões de toneladas) e da Bahia (1,8 milhões de toneladas) os de maior produção. O estado de São Paulo tem produção total de 1,2 milhões de toneladas e produtividade 24,8 t ha⁻¹ (IBGE, 2017). Essa produtividade está muito aquém do potencial da cultura, que pode chegar a aproximadamente 50 t ha⁻¹ (OTSUBO et al., 2008; FIALHO et al., 2009).

Dentre os fatores que causam essa baixa produtividade da mandioca, a falta de água é o que merece maior destaque. A cultura da mandioca sob condições de déficit hídrico, principalmente entre o 1º e o 5º mês após o plantio, pode reduzir a produção de raízes tuberosas entre 32 a 60% (ALVES, 2002). Contudo, a irrigação tem possibilitado que a cultura expresse seu potencial produtivo, resultando em incrementos de até 46% na produtividade (SOUZA et al., 2010).

Os reguladores vegetais são substâncias conhecidas por alterar e controlar as relações de desenvolvimento e transformações nas plantas. Os mais conhecidos e utilizados são as auxinas, citocininas e giberelinas (VIEIRA; CASTRO, 2001). Utilizando regulador vegetal em manivas-semente de mandioca, cultivar IAC-14, foi observado aumento no desenvolvimento radicular, principalmente no comprimento e superfície (FELTRAN et al., 2009).

Dessa forma, tendo em vista a importância socioeconômica do cultivo da mandioca em condições inaptas para a maioria dos outros cultivos, onde a cultura é submetida a períodos frequentes de déficit de água no solo, e que há poucas informações sobre o uso de reguladores vegetais para amenizar os efeitos desse estresse, assim estudos mais aprofundados nesta cultura poderão contribuir para

melhorar o seu manejo agrícola e aumentar sua produtividade. A hipótese desse trabalho é que plantas de mandioca tratadas com o regulador de crescimento vegetal Stimulate® serão mais vigorosas e resistentes à deficiência hídrica e terão maior produção de raízes tuberosas. O objetivo deste trabalho foi avaliar os componentes de produção da mandioca de mesa IAC 576-70 sob o efeito de deficiência hídrica e doses de regulador vegetal.

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em ambiente protegido na Faculdade de Ciências Agrônomicas - FCA/UNESP, município de Botucatu-SP, com coordenadas geográficas 22° 51' S de latitude, 48° 26' W de longitude a 786 m de altitude, estado de São Paulo, Brasil.

A cultivar de mandioca utilizada foi a de mesa IAC 576-70 por se tratar da principal variedade utilizada no estado de São Paulo e ser considerada padrão comercial, contando com alta produtividade, atingindo acima de 22 t ha⁻¹, película semi-rugosa com coloração marrom a marrom claro e polpa creme com beta-caroteno, boas características organolépticas e tempo médio de cozimento (LORENZI e DIAS, 1993; MAZETTE *et al.*, 2009).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados e em esquema fatorial 5x2, sendo cinco doses do regulador de crescimento (0, 250, 500, 750 e 1000 mL ha⁻¹) e duas tensões de água no solo (-10 e -70 kPa), com quatro repetições. O regulador de crescimento utilizado foi o Stimulate® (Stoller do Brasil Ltda.) contendo: 0,09 g L⁻¹ de cinetina, 0,05 g L⁻¹ de ácido giberélico e 0,05 g L⁻¹ de ácido indol-butírico. A aplicação das doses do regulador de crescimento foi via foliar aos 90 dias após o plantio (DAP) das manivas. As diferentes tensões de água no solo foram escolhidas considerando que a tensão de -10 kPa mantivesse as plantas sob condições de umidade do solo próxima à capacidade de campo e a tensão -70 kPa promovesse deficiência hídrica severa nas plantas.

O plantio foi realizado em 07 de outubro de 2017 utilizando-se manivas de 20 cm e aproximadamente 2,5 cm de diâmetro, com sete a oito gemas, oriundas do terço médio de plantas saudáveis de 12 meses. As manivas-semente foram plantadas em profundidade de aproximadamente cinco centímetros em caixas contendo 0,3 m³ de

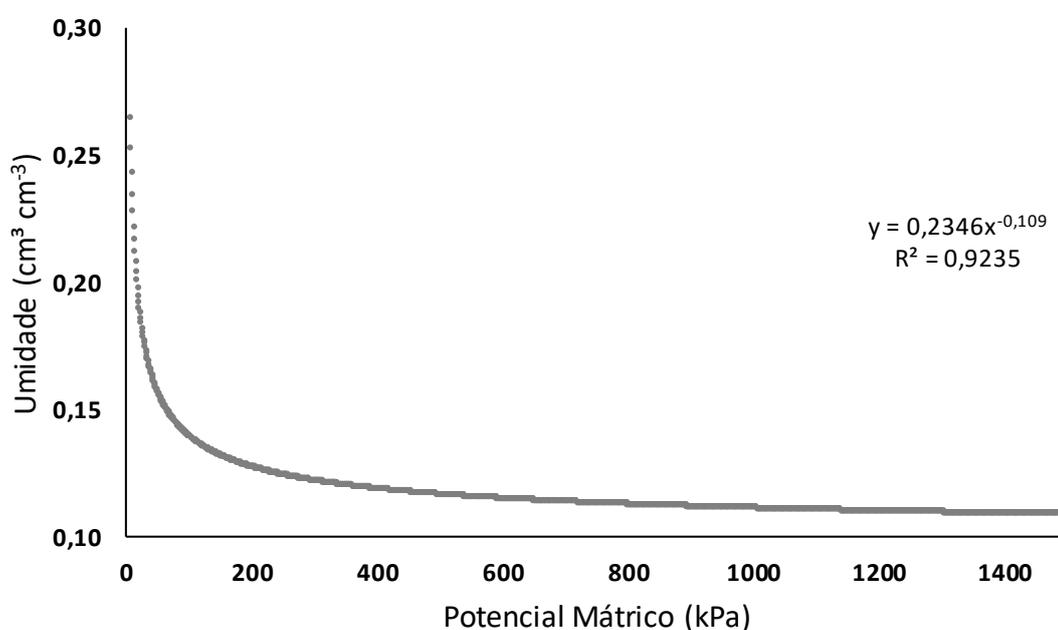
solo, o qual teve sua acidez previamente corrigida pelo método de saturação de bases (70%).

Não foi necessária adubação no momento do plantio, de acordo com a análise de solo. Aos 40 (DAP) foi feita adubação de cobertura com 40 kg de N ha⁻¹ utilizando-se ureia (45% de N), incorporados ao lado das plantas. Aos 50 DAP foi feito o desbaste das plantas, conduzindo 3 hastes por planta.

A irrigação dos vasos foi feita de forma manual com base na curva de retenção de água no solo (Figura 1) por aferição da tensão de água no solo com uso de tensiômetros de punção a 0,2 m de profundidade no solo e tensímetro digital. O turno de rega foi diário, mantendo as plantas em condições de umidade próximas à capacidade de campo até a aplicação do tratamento de deficiência hídrica severa, dos 112 aos 140 DAP.

As leituras realizadas com o tensímetro entre as 16 e 17 h foram convertidas em potencial matricial de água no solo (Ψ_m) na unidade de kPa (DOURADO NETO *et al.*, 1995) e posteriormente foi feito o ajuste dos dados de acordo com a curva de retenção de água do solo (Figura 1) (VAN GENUCHTEN, 1980).

Figura 1 – Curva de retenção de água no solo da área experimental



Fonte: PEREIRA, 2017.

Aos 102 DAP foram aplicadas as doses de regulador vegetal 0, 250, 500, 750 e 1.000 mL ha⁻¹, utilizando-se pulverizador costal de pressão constante (CO₂) com 2 kgf cm⁻². Parte das plantas foram submetidas à deficiência hídrica (-70 KPa) dos 109 aos 137 DAP, fase considerada crítica para a tuberização das raízes devido à diferenciação das raízes fibrosas em raízes tuberosas, e então voltaram à tensão de água no solo de -10 KPa até o momento da colheita.

No momento da colheita, feita aos 309 DAP, quando foram avaliadas as variáveis: altura média das plantas (ALTP), altura média da primeira ramificação (ALTR), massa fresca da parte aérea (MFPA), número de raízes tuberosas comerciais (NRC), número de raízes tuberosas não comerciais (NRNC), diâmetro de raízes tuberosas comerciais (DRC) e não comerciais (DCNC), comprimento de raízes tuberosas comerciais (CRC) e não comerciais (CRNC), produção de raízes tuberosas comerciais (PRC) e não comerciais (PRNC) e produção total de raízes tuberosas (PTR) por planta. Por meio de secagem, em estufa, das partes das plantas foram determinadas a massa da matéria seca da parte aérea (MSPA), massa da matéria seca de raízes tuberosas comerciais (MSRC), não comerciais (MSRNC) e totais (MSRT), e índice de colheita (IC).

A altura de plantas (ALTP) foi obtida por meio de trena, considerando-se a altura do solo ao ápice de cada haste, e a altura da primeira ramificação (ALTR) do solo à primeira bifurcação do caule. A massa fresca da parte aérea (MFPA) foi mensurada por meio de balança digital considerando caules, folhas e cepas.

Foram contadas as raízes tuberosas comerciais (NRC) e não comerciais (NRNC), considerando como raízes comerciais apenas aquelas de diâmetro superior à 30 mm. O diâmetro das raízes tuberosas comerciais (DRC) e não comerciais (DRNC) foi obtido com um paquímetro digital. Utilizando-se fita métrica foram mensurados os comprimentos das raízes comerciais (CRC) e não comerciais (CRNC).

A produção de raízes tuberosas comerciais (PRC) e não comerciais (PRNC) por planta foi obtida através da pesagem das raízes de cada parcela, utilizando-se balança digital. A produção total de raízes tuberosas por planta (PTR) foi obtida pela soma das produções de raízes comerciais e não comerciais.

As amostras da parte aérea foram trituradas em máquina forrageira e acondicionados em sacos de papel tipo kraft e as amostras de raízes tuberosas foram fatiadas com aproximadamente dois centímetros para maior área de contato com o ar e dispostas em bandejas de alumínio e secos em estufa de circulação forçada de ar a

65° C até atingirem massa constante, em seguida foram feitas as determinações de massas de matéria seca de parte aérea (MSPA), massa da matéria seca de raízes comerciais (MSRC) e não comerciais (MSRNC). O índice de colheita (IC) foi calculado pela razão entre a massa da matéria seca de raízes totais e a massa da matéria seca total da planta, convertendo os valores em porcentagem (%).

As amostras de raízes tuberosas comerciais foram resfriadas e no dia seguinte à colheita foram avaliadas características de cozimento através do tempo de cozimento (TC) e absorção de água durante o cozimento (AAC).

Para a avaliação do tempo de cozimento (TC) as raízes foram descascadas e cortadas em toletes de aproximadamente oito centímetros de comprimento e cozidas em água fervente dentro de recipientes de vidro tipo béquer devidamente identificados contendo três toletes a cada repetição. O tempo de cozimento foi determinado quando houve a facilidade de penetração de garfo em pelo menos dois dos toletes. Logo após serem consideradas cozidas, as amostras foram resfriadas em água corrente para que o processo de cozimento fosse interrompido.

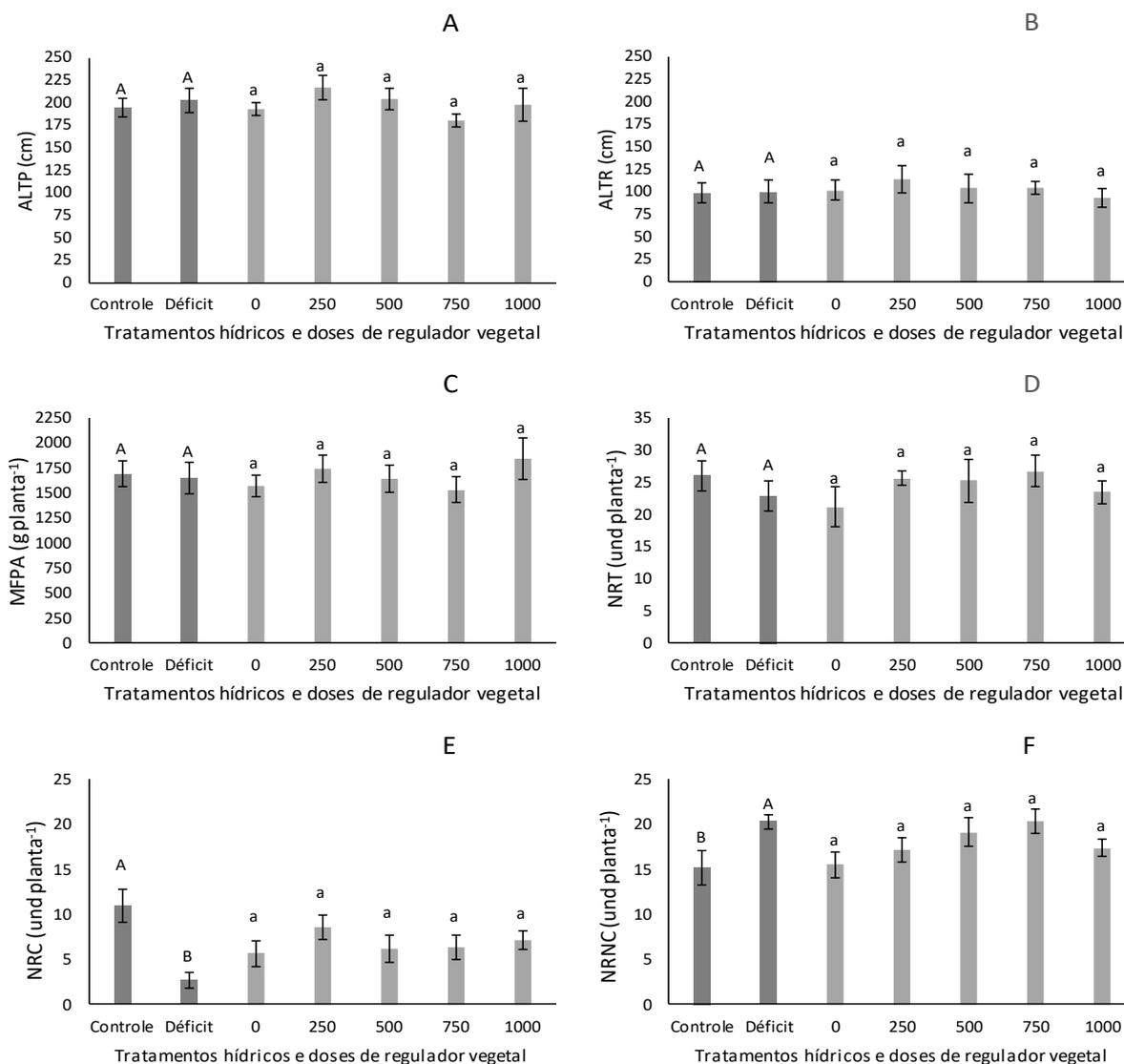
A absorção de água durante o cozimento (AAC), em porcentagem (%) foi determinada pela diferença entre a massa fresca dos toletes e a massa após o cozimento com auxílio de balança digital analítica. Os toletes foram secos com papel toalha para evitar que a umidade em excesso interferisse na aferição das massas.

Os resultados foram submetidos à análise de variância estudando-se a interação entre os fatores, e comparação de médias pelo teste de Tukey ($p:0,05$). Para isso, foi utilizado o Software para análises estatísticas de ensaios agrônômicos (AgroStat).

2.4 RESULTADOS

A análise estatística dos dados mostrou que o fator deficiência hídrico dos 109 aos 137 DAP teve efeito sobre o número de raízes comerciais e não comerciais, diâmetro de raízes comerciais, comprimento de raízes não comerciais, produção de raízes comerciais, produção de raízes não comerciais, produção total de raízes tuberosas, massa da matéria seca de raízes comerciais, massa da matéria seca de raízes não comerciais, massa da matéria seca total de raízes tuberosas e no índice de colheita. O fator dose de regulador vegetal afetou apenas a variável massa seca da parte aérea (MSPA), não proporcionando diferença para nenhuma das demais variáveis avaliadas durante a colheita.

Figura 2 - Altura média de plantas (A), altura média da primeira ramificação (B), massa fresca da parte aérea (C), número total de raízes tuberosas (D), número de raízes tuberosas comerciais (E) e número de raízes tuberosas não comerciais (F) de plantas de mandioca de mesa (*Manihot esculenta* Crantz), sob deficiência hídrica e cinco doses de regulador vegetal



Havendo interação entre os fatores, as letras maiúsculas comparam os resultados entre o fator deficiência hídrica e as letras minúsculas entre as doses de regulador vegetal pelo teste Tukey ($p: 0,05$). As barras indicam o erro padrão da média de quatro repetições.

A altura de plantas (ALTP) não teve influência dos fatores deficiência hídrica e doses do regulador vegetal, com valores médios em torno de 200 cm (FIGURA 2A). A altura da primeira ramificação também não foi afetada pelos fatores de variação impostos, com valores médios de 100 cm de inserção da primeira ramificação em

relação ao solo (FIGURA 2B). Da mesma forma, a massa fresca da parte aérea não teve efeito dos tratamentos, com valores em torno de 1500 a 2000 g planta⁻¹ (FIGURA 2C).

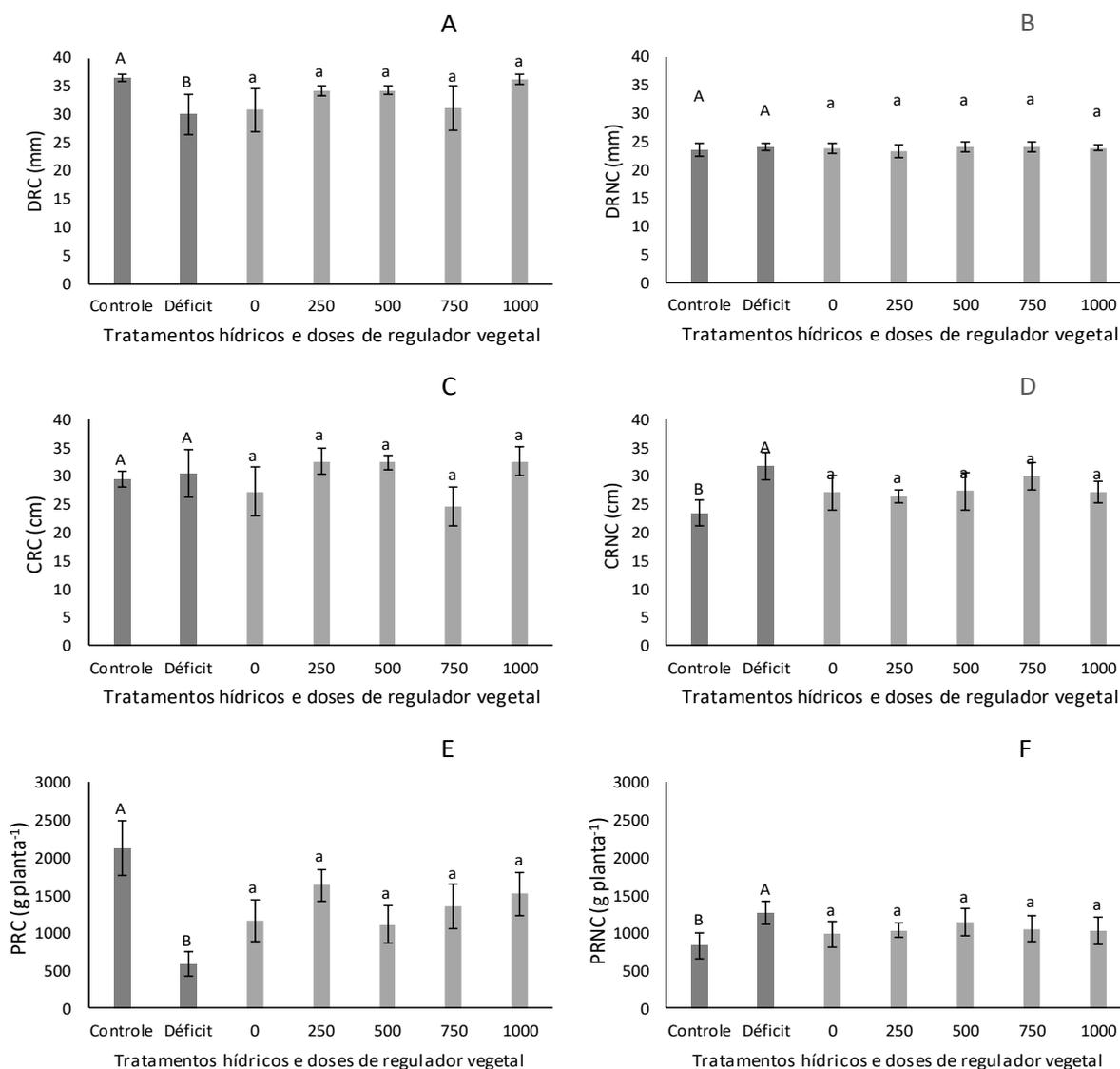
O número de raízes tuberosas não apresentou diferença para os tratamentos, sendo que as plantas produziram em média 25 raízes de reserva ao todo (FIGURA 2D). No entanto, o número de raízes tuberosas comerciais apresentou grande diferença entre os tratamentos de deficiência hídrica dos 109 aos 137 DAP e o controle, com médias de 2,6 e 10,9 raízes planta⁻¹, respectivamente. Essa diferença é de aproximadamente três vezes mais raízes comerciais para o tratamento controle (FIGURA 2E).

Em comparação, o número de raízes não comerciais foi mais elevado para as plantas submetidas ao tratamento de deficiência hídrica durante a fase de diferenciação das raízes, com 20,25 raízes tuberosas não comerciais planta⁻¹, que o controle, com 15,15 raízes não comerciais planta⁻¹, uma diferença de cerca de 25% (FIGURA 2F).

O diâmetro de raízes comerciais (DRC) diferiu no fator deficiência hídrica, com o tratamento controle tendo diâmetro médio de 36,62 mm, enquanto as raízes comerciais das plantas no tratamento submetido à menor tensão de água no solo (109 aos 137 DAP) tiveram 30,08 mm de diâmetro, uma diferença de 21,86% (FIGURA 3A). Por sua vez, o diâmetro de raízes não comerciais (DRNC) não diferiu entre os tratamentos, com média geral de 23,90 mm (FIGURA 3B).

Não houve efeito dos fatores de variação para o comprimento das raízes comerciais (CRC), as quais apresentaram média de comprimento de 29,96 cm (FIGURA 3C). Diferentemente, o comprimento das raízes não comerciais (CRNC) apresentou diferença para o fator de deficiência hídrica no período de tuberação, com maior comprimento para as raízes das plantas que sofreram a deficiência em relação às raízes das plantas no tratamento controle, com 31,86 e 23,44 cm em média, respectivamente, representando uma diferença de 35,92% de uma média para a outra (FIGURA 3D).

Figura 3 – Diâmetro de raízes comerciais (A), diâmetro de raízes não comerciais (B), comprimento de raízes comerciais (C, comprimento de raízes não comerciais (D), produtividade de raízes comerciais (E) e produtividade de raízes não comerciais (F) de plantas de mandioca de mesa (*Manihot esculenta* Crantz), sob deficiência hídrica e cinco doses de regulador vegetal



Havendo interação entre os fatores, as letras maiúsculas comparam os resultados entre o fator deficiência hídrica e as letras minúsculas entre as doses de regulador vegetal pelo teste Tukey ($p: 0,05$). As barras indicam o erro padrão da média de quatro repetições.

A produtividade de raízes comerciais (PRC) foi fortemente afetada pelo fator de deficiência hídrica dos 109 aos 137 DAP, tendo o tratamento controle 2129,1 g planta⁻¹ de raízes comerciais, enquanto o tratamento afetado pela deficiência hídrica produziu 586,6 g planta⁻¹ (FIGURA 3E). Isso representa 3,6 vezes mais raízes com

padrões comerciais para o tratamento que esteve em capacidade de campo durante todo o ciclo.

Já a produtividade de raízes não comerciais (PRNC) teve valores mais elevados para as plantas que passaram pela deficiência hídrica, com 1268 g planta⁻¹ em comparação com as plantas em tratamento controle, como 834 g planta⁻¹ de raízes não comerciais (FIGURA 3F).

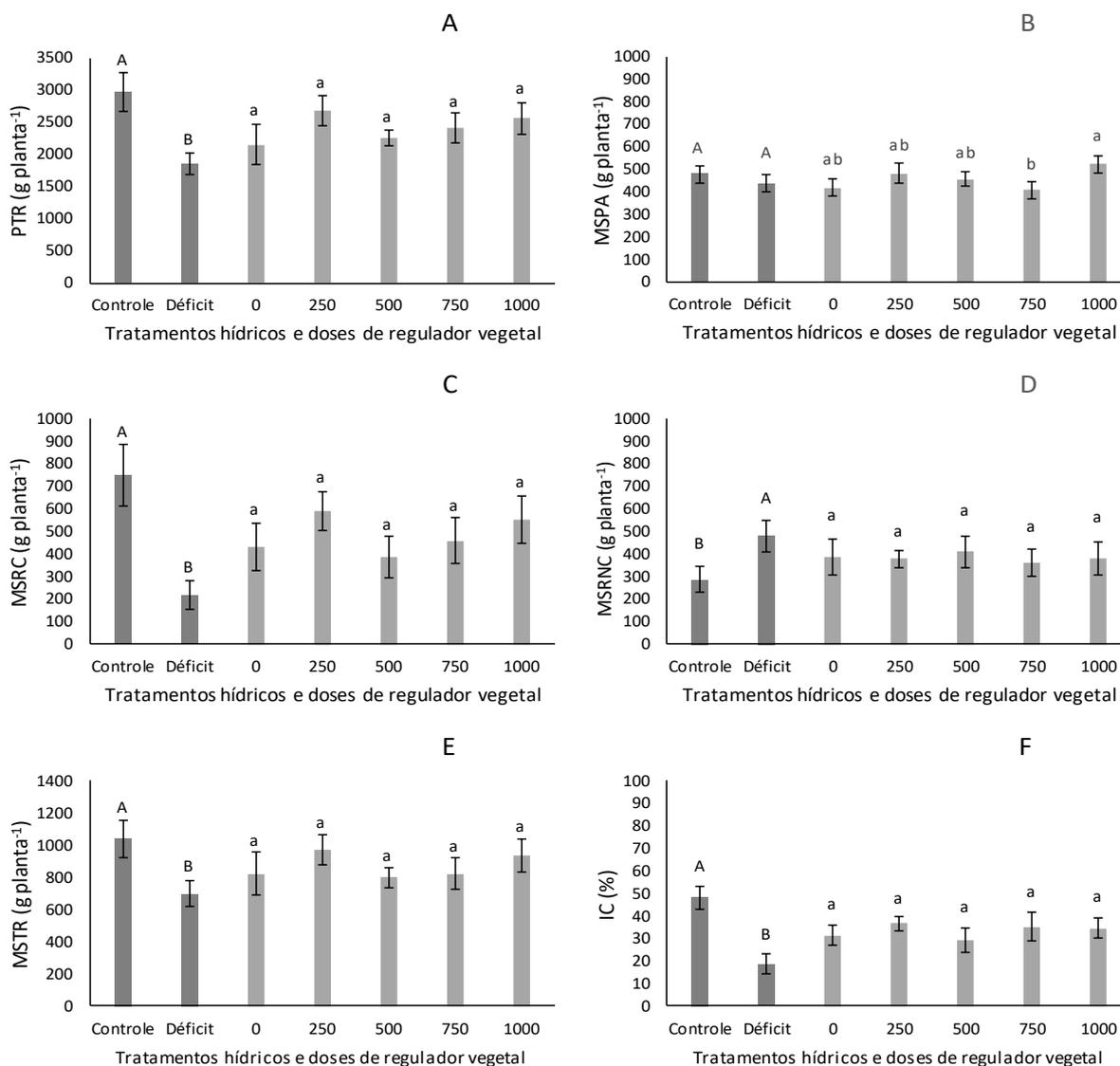
As plantas que foram submetidas à deficiência hídrica no período de 109 a 137 DAP apresentaram menor produção total de raízes tuberosas (PTR) em comparação com aquelas que estiveram durante todo o período sob condição de capacidade de campo, com produtividades de 1854,6 g planta⁻¹ e 2963,1 g planta⁻¹, respectivamente (FIGURA 4A). Essa é uma diferença de 59,77% a mais de produção para as plantas que não sofreram déficit hídrico.

A variável massa da matéria seca da parte aérea (MSPA) não diferiu entre os regimes hídricos dos 109 aos 137 DAP (FIGURA 4B). No entanto foi a única variável analisada com efeito do fator doses de regulador vegetal, sendo a dose de 1000 mL ha⁻¹ a que proporcionou maior MSPA (523,35 g planta⁻¹) e a dose de 750 mL ha⁻¹ menor MSPA (408,23 g planta⁻¹). As demais doses foram intermediárias e semelhantes às doses citadas anteriormente.

Semelhantemente à produtividade de raízes comerciais, a massa da matéria seca das raízes comerciais (MSRC) teve grande influência da deficiência hídrica no período de diferenciação das raízes tuberosas, fazendo com que as plantas submetidas ao déficit de água apresentassem média de apenas 217,15 g planta⁻¹ contra 750,44 g planta⁻¹ das plantas em condições controle (FIGURA 4C).

Por sua vez, a massa da matéria seca de raízes tuberosas não comerciais (MSRNC) também se comportou de forma semelhante à produtividade de raízes não comerciais, sendo mais elevada para as plantas submetidas à deficiência hídrica (479,54 g planta⁻¹), em comparação com as plantas em regime hídrico controle (286,70 g planta⁻¹), uma redução de 67,26% (FIGURA 4D).

Figura 4 – Produtividade total de raízes tuberosas (A), massa da matéria seca da parte aérea (B), massa da matéria seca de raízes comerciais (C), massa da matéria seca de raízes não comerciais (D), massa da matéria seca total de raízes tuberosas (E) e índice de colheita (F) de plantas de mandioca de mesa (*Manihot esculenta* Crantz), sob deficiência hídrica e cinco doses de regulador vegetal.



Havendo interação entre os fatores, as letras maiúsculas comparam os resultados entre o fator deficiência hídrica e as letras minúsculas entre as doses de regulador vegetal pelo teste Tukey ($p: 0,05$). As barras indicam o erro padrão da média de quatro repetições.

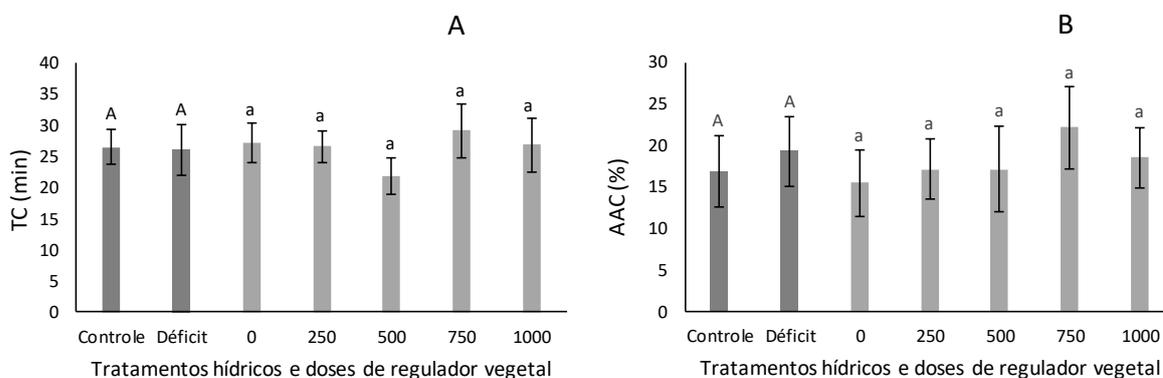
A massa da matéria seca total de raízes tuberosas (MSTR) também se mostrou discrepante entre os tratamentos hídricos, com média de 1037,15 g planta⁻¹ para as plantas no tratamento controle, enquanto as plantas submetidas à deficiência hídrica

tiveram média de apenas 696,69 g planta⁻¹, uma diferença de produção de matéria seca de raízes de 48,86% (FIGURA 4E).

Devido a essas diferenças de produção de matéria seca de raízes tuberosas, o índice de colheita (IC) foi também impactado pela deficiência hídrica (FIGURA 4F). Enquanto o tratamento controle apresentou IC de 47,95%, o tratamento submetido à deficiência hídrica obteve apenas 18,53%.

Os fatores estudados não influenciaram no tempo de cozimento das raízes comerciais (TC), as quais tiveram, de forma geral, tempo médio de cocção de 26,38 min (FIGURA 5A). Também não houve diferença entre as porcentagens de absorção de água durante o cozimento (AAC), com valor médio de 18,10% do peso inicial em água absorvida (FIGURA 5B).

Figura 5 – Tempo de cozimento (TC) e absorção de água durante o cozimento (AAC) de mandioca de mesa (*Manihot esculenta* Crantz), sob deficiência hídrica e cinco doses de regulador vegetal



Havendo interação entre os fatores, as letras maiúsculas comparam os resultados entre o fator deficiência hídrica e as letras minúsculas entre as doses de regulador vegetal pelo teste Tukey (p : 0,05). As barras indicam o erro padrão da média de quatro repetições.

2.5 DISCUSSÃO

A altura média de plantas (ALTP) e a altura média da primeira ramificação (ALTR) se mostraram elevadas para os padrões da cultura (GOMES et al., 2007), indicando que a radiação difusa da condição de casa de vegetação pode ter estimulado estiolamento das plantas. Isso fica mais evidente observando-se a massa fresca e seca da parte aérea, que foi mais elevada que a média encontrada por Gomes et al. (2007), em condições de campo, enquanto se assemelha a valores encontrados

por Pereira (2017) em condições semelhantes de casa de ambiente protegido, e por Santos (2017) em ensaio de campo.

Enquanto o número total de raízes tuberosas (NTR) não diferiu entre os tratamentos, pôde-se notar diferença entre a quantidade de raízes tuberosas comerciais (NRC), sendo maior para as plantas que não sofreram deficiência hídrica, o que mostra que inicialmente as plantas dispõem de uma quantidade relativamente fixa de raízes a serem tuberizadas, mas a depender de fatores limitantes esse número de raízes que atingem o tamanho padrão de comercialização é diminuto (OLIVEIRA *et al.*, 1992; PORTO *et al.*, 1989; PEREIRA, 2017). É interessante notar que enquanto vários autores observam essa diminuição de raízes tuberosas com dois meses de deficiência hídrica, no presente trabalho isso foi encontrado com apenas 28 dias de tensão de água no solo reduzida.

Mesmo as poucas raízes que tiveram sua tuberização continuada após o período de estresse hídrico apresentaram menor diâmetro de raízes comerciais (DRC) em relação às das plantas em condições controle. Isso pode ser explicado pelo fato de a mandioca ser uma espécie perene, já que as plantas com essa característica não priorizam seus produtos tidos como comerciais, mas sua condição vegetativa para que sobrevivam e em momento futuro possam então produzir adequadamente, vide exemplo da bienalidade da cultura do café, diferentemente de plantas anuais, como a seja por exemplo, que em face de alguns níveis de estresse favorecem sua produção de sementes visando a perpetuação da espécie.

Como resultado do menor número e diâmetro de raízes tuberosas comerciais, as plantas que passaram por deficiência hídrica apresentaram baixa produtividade comercial de raízes (PRC). Esse resultado colabora com outros encontrados na literatura, os quais afirmam que a falta de água no período de tuberização das raízes pode acarretar em perda de 30 a 60% (CONNOR *et al.*, 1981, OLIVEIRA, 1982, PORTO *et al.*, 1989; PEREIRA, 2017). Neste estudo, a perda foi de mais de 72% no rendimento de raízes comerciais. O mesmo serve para a massa de matéria seca das raízes

2.6 CONCLUSÕES

A deficiência hídrica entre 109 e 137 DAP reduziu em mais de três vezes o número e produtividade de raízes comerciais, com efeito negativo também sobre a

massa de matéria seca de raízes tuberosas, ocasionando perdas de quase 60% na produção total de raízes. O regulador vegetal aumentou a matéria seca da parte aérea, porém não teve efeito sobre a produção da mandioca. A deficiência hídrica na fase de desenvolvimento dos ramos e folhas, dos 109 a 137 DAP ocasionou redução da produção de raízes tuberosas

REFERÊNCIAS

- ALVES, Alfredo Augusto Cunha et al. Cassava botany and physiology. **Cassava: biology, production and utilization**, v. 1, p. 67-89, 2002.
- CONNOR, D. J.; COCK, J. H.; PARRA, G. E. Response of cassava to water shortage I. Growth and yield. **Field Crops Research**, v. 4, p. 181-200, 1981.
- Dourado Neto, D., Nielsen, D.R., Hopans, J.W., Parlange, M.B., 1995. Programa SWRC, Version 3.0: Soil-Water Retention Curve (Software). Piracicaba, Davis.
- FAO, 2016. Food outlook: biannual report on global food markets. Food and Agriculture Organization of the United Nations, October 2016, 34–39.
- FELTRAN, José Carlos; VALLE, Teresa Losada; GALERA, J. M. S. V. Efeito de regulador vegetal (Stimulate®) no desenvolvimento radicular da mandioca de indústria variedade IAC-14. In: **XIII Congresso Brasileiro de Mandioca, Botucatu. Anais, Unesp**. 2009. p. 1-3.
- FIALHO, Josefino de Freitas et al. Desempenho de variedades de mandioca de mesa no Distrito Federal. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 15, n. 1-4, 2009.
- GONZALES, Priscila Figueiredo et al. Componentes de produção e morfologia de raízes de mandioca sob diferentes preparos do solo. **Bragantia**, p. 357-364, 2014.
- GOMES, Carlos Nick et al. Caracterização morfoagronômica e coeficientes de trilha de caracteres componentes da produção em mandioca. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1121-1130, 2007.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Rio de Janeiro: LSPA, Estatística da Produção Agrícola: janeiro de 2017, 72 p. 2017.
- Lorenzi, J. O.; DIAS, C. A. C. **Cultura da mandioca**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1993. 41p.
- MEZETTE, Thiago Fonseca et al. Seleção de clones-elite de mandioca de mesa visando a características agronômicas, tecnológicas e químicas. **Bragantia**, v. 68, n. 3, p. 601-609, 2009.

OLIVEIRA, S. L.; MACEDO, M. M. C.; PORTO, M. C. M. Efeito do déficit de água na produção de raízes de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n. 1, p. 121-124. 1992.

OTSUBO, Auro Akio et al. Sistemas de preparo do solo, plantas de cobertura e produtividade da cultura da mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 3, p. 327-332, 2008.

PEREIRA, Laís Fernanda Melo. Aspectos fisiológicos e bioquímicos da mandioca cultivada sob deficiência hídrica em diferentes fases de desenvolvimento. 2017.

PORTO, Marcio Carvalho Marques et al. Acúmulo e distribuição de matéria seca em mandioca submetida a deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 24, n. 5, p. 557-565, 1989.

SANTOS, Jardel Barbosa et al. Desempenho produtivo e teor de amido de cultivares de mandioca em plintossolo na região sudoeste do Tocantins. In: **8ª JICE-JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E EXTENSÃO**. 2017.

SOUZA, Myrne Jamilly Lima et al. Características agronômicas da mandioca relacionadas à interação entre irrigação, épocas de colheita e cloreto de mepiquat. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 1, 2010

Vieira, E. L.; Castro, P. R. **Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical**. Guaíba, BR: Editora Agropecuária, 2001.

VIEIRA, Eduardo Alano et al. Caracterização fenotípica e molecular de acessos de mandioca de indústria com potencial de adaptação às condições do cerrado do Brasil Central. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, 2013.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Houve efeito dos fatores sobre as variáveis fisiológicas fotossintéticas, sendo efeito negativo no desempenho fotossintético das plantas no período de deficiência hídrica, porém os efeitos do regulador vegetal foram inconsistentes entre as características avaliadas. De forma geral, houve recuperação das características fisiológicas das plantas após a reidratação. A deficiência hídrica afeta a fisiologia das plantas de mandioca na fase de desenvolvimento dos ramos e folhas, porém com boa recuperação.

A deficiência hídrica entre 109 e 137 DAP reduziu em mais de três vezes o número e produtividade de raízes comerciais, com efeito negativo também sobre a massa de matéria seca de raízes tuberosas, ocasionando perdas de quase 60% na produção total de raízes. O regulador vegetal aumentou a matéria seca da parte aérea, porém não teve efeito sobre a produção da mandioca. A deficiência hídrica na fase de desenvolvimento dos ramos e folhas, dos 109 a 137 DAP ocasionou redução da produção de raízes tuberosas

REFERÊNCIAS

- ALVES, A. A. C. Fisiologia da mandioca. In: Aspectos socioeconômicos e agronômicos da mandioca. **Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical**, Cruz das Almas, BA, v.7, p.138-169, 2006.
- CAMBRAIA, J. Aspectos bioquímicos, celulares e fisiológicos dos estresses nutricionais em plantas. In: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, E. de L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T. (eds.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE. cap. 2 , p. 95-104. 2005.
- CAVALCANTE, U. M. T.; MAIA, L. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, V. D.. Respostas fisiológicas em mudas de maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. flavicarpa Deg) inoculados com fungos micorrízicos arbusculares e submetidos a estresse hídrico. **Acta Botanica Brasilica**, v. 3, p.379-390, 2001.
- CONCEIÇÃO, A. J. da. **A mandioca**. São Paulo: Nobel, 1981. 382 p.
- CONNOR, D. J.; COCK, J. H.; PARRA, G. E. Response of cassava to water shortage I. Growth and yield. **Field Crops Research**, v. 4, p. 181-200, 1981.
- FAO, 2016. Food outlook: biannual report on global food markets. Food and Agriculture Organization of the United Nations, October 2016, 34–39.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Rio de Janeiro: LSPA, Estatística da Produção Agrícola: janeiro de 2017, 72 p. 2017.
- KANTO, U.; JUTAMANEE, K.; OSOTSAPAR, Y.; JATTUPORNPONG, S. Effect of swine manure extract on leaf nitrogen concentration, chlorophyll content, total potassium in plant parts and starch content in fresh tuber yield of cassava. **Journal of Plant Nutrition**, v. 35, n. 5, p. 688–703, 2012.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Editora RIMA, 2006. 531 p.
- Lorenzi, J. O.; DIAS, C. A. C. **Cultura da mandioca**. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1993. 41p.
- MATTOS, P.L.P; BEZERRA, V. S. Cultivo de mandioca para o estado do Amapá. **Embrapa Mandioca e Fruticultura**. 2003.Disponível em:

<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_a_mapa/adubacao.htm >. Acesso em: 20 maio de 2016.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; ALBUQUERQUE, M. B. de; SILVA, E. C. da. Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga. In: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, E. DE L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T.; (Ed.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária. p.22-31. 2005

OLIVEIRA, S. L.; MACEDO, M. M. C.; PORTO, M. C. M. Efeito do déficit de água na produção de raízes de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n. 1, p. 121-124. 1992.

PASCOAL FILHO, W.; SILVEIRA, S. R.. **Cultura da mandioca**. 2012. Disponível em: <<http://www.emater.mg.gov.br/doc/intranet/upload/LivrariaVirtual/cultura%20da%20mandioca.pdf>>. Acesso em: 26 ago. 2017.

PEREIRA, M. R. R. **Comportamento fisiológico e morfológico de clones de Eucalyptus sp. W.(Hill ex Maiden) submetidas a diferentes níveis de água no solo**. 2006. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

SALES, C.R.G.; RIBEIRO, R.V.; MACHADO, D.F.S.P.; MACHADO, R.S.; DOVIS, V.L.; LAGÔA, A.M.M.A. Trocas gasosas e balanço de carboidratos em plantas de cana-de-açúcar sob condições de estresses radiculares. **Bragantia**, v.71, p.319-327, 2012.

SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.287-294. 1998.

SCHWIDER, Y. S., PEZZOPANE, J. E. M., CORREA, V. B., TOLEDO, J.V., XAVIER, T. M. T. **Efeito do déficit hídrico sobre o crescimento de eucalipto em diferentes condições microclimáticas**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p. 2013.

SOUZA, L. D; SOUZA, L. S. Clima e solo. In: MATTOS, P. L. P.; GOMES, J. C. O cultivo da mandioca. Cruz das Almas – BA, **Embrapa Mandioca e Fruticultura**, p. 11-13, 2000 (Circular Técnica, 37).

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 820 p.

ZANETTI, S. Caracterização morfológica e nutricional em diferentes estádios fenológicos da mandioca de mesa IAC 576-70 sob deficiência hídrica. Botucatu, SP: **Dissertação de Mestrado**, UNESP, 2016.