

Câmpus
Ipameri



Universidade
Estadual de Goiás



Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal

**CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE VARIEDADES DE *Manihot
esculenta* SOB DÉFICIT HÍDRICO**

PRISCILLA GOMES DE FREITAS SANTOS

MESTRADO

**Ipameri-GO
2017**

PRISCILLA GOMES DE FREITAS SANTOS

CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE VARIEDADES DE *Manihot esculenta* SOB DÉFICIT HÍDRICO

Orientador: Prof. Dr. Fábio Santos Matos
Coorientadora: Dra. Patrícia Sousa da Silveira

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Câmpus Ipameri como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Produção Vegetal para obtenção do título de MESTRE.

Ipameri
2017

Santos, Priscilla Gomes de Freitas.
Crescimento e produtividade de variedades de *Manihot
Esculenta* sob déficit hídrico. / Priscilla Gomes de Freitas
Santos. - 2017. 28 f. il.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Santos Matos.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de
Goiás, Câmpus Ipameri 2017.
Bibliografia.

1. Ciências Agrárias. 2. Agronomia. 3. *Manihot
Esculenta*.

I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE VARIEDADES DE *Manihot esculenta* SOB DÉFICIT HÍDRICO”

AUTORA: Priscilla Gomes de Freitas Santos

ORIENTADOR: Fábio Santos Matos

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM PRODUÇÃO VEGETAL, pela comissão Examinadora:


Prof. Dr. FÁBIO SANTOS MATOS
Universidade Estadual de Goiás/Câmpus Ipameri-GO


Profa. Dra. CAROLINE MÜLLER
Instituto Federal Goiano/Câmpus Rio Verde-GO


Prof. Dr. EDNALDO CÂNDIDO ROCHA
Universidade Estadual de Goiás/Câmpus Ipameri-GO

Data da realização: 24 de fevereiro de 2017

DEDICATÓRIA

À Deus, meu refúgio e fortaleza, a Ele toda honra e toda glória.

Aos meus pais (Edimilson e Jussandra) que nunca mediram esforços para me ajudar, principalmente nos momentos mais difíceis da minha vida.

À minhas irmãs e amigas Aline, Renatinha, Nina, Keila e Karen; pela alegria, companheirismo e por me ensinarem que existe muito amor envolvido em tudo que vivemos.

AGRADECIMENTOS

À Deus por conceder forças para continuar caminhando sempre.

Aos meus pais Edimilson e Jussandra, por não medirem esforços para me oferecer uma melhor criação, melhor educação e o melhor ensinamento do bom caminho.

Ao meu irmão Marco Antônio, que sempre torceu pelo meu sucesso.

À toda minha família que incentivou e torceu por mim.

Ao meu orientador, Doutor Fábio Santos Matos, por todo ensinamento durante esses cinco anos no grupo Fisiologia da Produção, momentos únicos que sempre guardarei em minha memória. Agradeço até mesmo as repreensões, que, sem dúvida, contribuíram para meu crescimento profissional.

À minha coorientadora Dra. Patricia Sousa da Silveira, pelos ensinamentos, orientação, dedicação, apoio, atenção, carinho e amizade.

Ao grupo de pesquisa Fisiologia da Produção: Alainy, Camila, Diego, Leandro, Ricardo, Fred, Ivan, Vitor e Liana. Muito obrigada por todo desempenho e disponibilidade para execução deste trabalho. Foi uma honra trabalhar com todos vocês.

Aos amigos Larissa e Hilton Junior por estarem sempre próximos nos momentos alegres e tristes, sempre prontos a ajudar, em fim pela amizade.

À Carolina Galvão, minha irmã que escolhi ter. Obrigada por sempre estar do meu lado.

À Fabiola Teodoro, pela amizade e apoio durante o mestrado.

À todos colegas de pós de graduação, em especial a Marina, Tiago e Auac Breno, pela amizade e companheirismo.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da UEG – Câmpus Ipameri, em especial ao Dr. Ednaldo Cândido Rocha pelos ensinamentos transmitidos.

Agradecimentos especiais à Universidade Estadual de Goiás-Câmpus Ipameri e Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal pela oportunidade de realização do Mestrado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pela concessão de bolsa de estudos.

À todos que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação.

A todos vocês, muito obrigada!

SUMÁRIO

| | |
|---|-----|
| RESUMO | VI |
| ABSTRACT | VII |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 OBJETIVO | 4 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS | 5 |
| 3.1 MATERIAL VEGETAL | 5 |
| 3.2 VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS E CRESCIMENTO | 6 |
| 3.3 ÍNDICE DE PLASTICIDADE | 7 |
| 3.5 VARIÁVEIS BIOQUÍMICAS | 8 |
| 3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS | 9 |
| 4 RESULTADOS | 10 |
| 5 DISCUSSÃO | 13 |
| 6 CONCLUSÃO | 18 |
| 7 REFERÊNCIAS | 19 |

RESUMO

O déficit hídrico é um dos estresses abióticos que mais compromete a produtividade das culturas e tem sido intensificado ao longo dos anos decorrente às mudanças climáticas. Assim, torna-se importante o entendimento das estratégias relacionadas à tolerância ao déficit hídrico para escolha de variedades com maior potencial produtivo em condições de baixa disponibilidade hídrica. O presente estudo teve como objetivo classificar quatro variedades de mandioca quanto a tolerância ao déficit hídrico e identificar as estratégias de tolerância à seca dessas variedades. Foram conduzidos experimentos no campo experimental e casa-de-vegetação da Universidade Estadual de Goiás, Campus Ipameri. No campo, foram realizados dois experimentos em anos consecutivos, em delineamento em blocos casualizados (DBC) com quatro variedades de mandioca (Cidade Rica, Comuquem, Formosa e Manteiga). O experimento conduzido em casa-de-vegetação constituiu DBC 5x4, com cinco reposições hídricas (20, 40, 60, 80 e 100% do volume de água referente à evapotranspiração) e quatro variedades de mandioca, com quatro repetições em cada experimento. Foram realizadas avaliações fisiológicas, bioquímicas, morfológicas e de produtividade. Os dados foram avaliados por Scott-Knott (5%) e regressão para as avaliações de campo e casa de vegetação, respectivamente. De acordo com as variáveis analisadas, Comuquem e Formosa se destacaram quanto a tolerância à seca e as variedades Manteiga e Cidade Rica foram classificadas como susceptíveis ao estresse hídrico. A tolerância ao estresse hídrico, observado na variedade Comuquem, deve-se à um sistema de defesa antioxidante eficiente que, associado ao acúmulo de açúcares permitiu a manutenção do status hídrico e maior produtividade em relação às demais variedades.

Palavras-Chaves: Mandioca, Seca, Plasticidade fenotípica, açúcares, enzimas antioxidantes.

ABSTRACT

The water deficit is one of the abiotic stresses that most compromises crop productivity and has been intensified over the years due to climate change. Thus, it is important to understand the strategies related to water deficit tolerance in order to select varieties with higher productive potential under conditions of low water availability. The objective of this study was to classify four cassava varieties for tolerance to water deficit and to identify the drought tolerance strategies of these varieties. Experiments were conducted in the experimental and greenhouse field of the State University of Goiás, Campus Ipameri. In the field, two experiments were carried out in consecutive years, in a randomized complete block design (DBC) with four varieties of cassava (Cidade Rica, Comuquem, Formosa and Manteiga). The greenhouse experiment consisted of DBC 5x4, with five water replenishments (20, 40, 60, 80 and 100% of the volume of water related to evapotranspiration) and four varieties of cassava, with four replicates in each experiment. Physiological, biochemical, morphological and productivity evaluations were performed. Data were evaluated by Scott-Knott (5%) and regression for field and greenhouse assessments, respectively. According to the analyzed variables, Comuquem and Formosa stood out for drought tolerance and the varieties Manteiga and Cidade Rica were classified as susceptible to water stress. The tolerance to water stress, observed in the Comuquem variety, is due to an efficient antioxidant desorption system that, together with the accumulation of sugars, allowed the maintenance of water status and higher productivity in relation to the other varieties.

Key-words: Cassava; Dry, Phenotypic plasticity, Sugars, Antioxidant enzymes.

1 INTRODUÇÃO

No atual cenário de secas na diversas regiões produtoras de alimentos, torna-se necessário o desenvolvimento de culturas melhoradas para obtenção de altos rendimentos sob baixa disponibilidade de água. Dentre as espécies alimentícias tolerantes à seca, destaca-se a *Manihot esculenta* conhecida popularmente como mandioca.

A mandioca é originária da América do Sul, na região da Amazônia, a única das 98 espécies que possui interesse econômico. Pertencente à família Euphorbiaceae, caracterizada pela presença de látex e glicosídeos cianogênicos, é um arbusto perene de hábito indeterminado, propagado vegetativamente através de pedaços do caule denominados manivas (FUKUDA et al., 2006).

A planta pode apresentar caule ereto ou ramificado com duas a quatro hastes a depender do genótipo. As folhas são simples e decíduas, inseridas no caule disposta alterno-espinalado, possuem coloração que varia entre o verde, amarelo e roxo a depender da variedade. O pecíolo apresenta comprimento e coloração variáveis e o limbo é partido, originando lóbulos em números de três a onze, com largura, comprimento, cor e forma variáveis (RIBEIRO, 2010).

A mandioca apresenta raízes tuberosas, com tamanho e formato variados, podendo ser cilíndricas, cônicas e globosas. O número de raízes é variável, ocorrendo de 5 a 20 raízes por planta a depender da cultivar. A colheita pode ocorrer entre 8 e 12 meses após o plantio e, as raízes são destinadas para o consumo in natura ou industrial. As variedades são classificadas com sua toxicologia: “mansas” quando o teor de HCN na polpa crua das raízes for inferior a 100 ppm, destinadas ao consumo para mesa; “intermédias” se esse mesmo teor estiver na concentração entre 100 e 200 ppm; e “bravas” se existir mais de 200 ppm de HCN na polpa crua das raízes, destinadas apenas à indústria (COIMBRA, 2013).

A farinha é o principal subproduto da mandioca, no entanto, existe outros de importância econômica como: fécula, pubá, chips, xaropes, papel, colas especiais, aditivos alimentares orgânicos, cerveja orgânica e rações (SILVA et al., 2012).

O Brasil é o terceiro produtor mundial de mandioca com 25,44 milhões de toneladas e produtividade de 14,61 t ha⁻¹ (IBGE, 2016). As regiões Norte e Nordeste são as principais produtoras da cultura do Brasil com mais de 50% da produção nacional (FAO, 2015). No entanto, a cultura é extensivamente cultivada na região Centro-Oeste, considerada como fronteira agrícola em relação às características de clima e solo favoráveis à cultura da mandioca. Apesar de todo o potencial que a região Centro-Oeste possui para o cultivo, a produtividade média é de apenas 13 t ha⁻¹ (IBGE, 2016). A reduzida produtividade deve-se, além de longos períodos de secas, à limitação de estudos e indicações de variedades tolerantes

às condições locais. Assim, o desenvolvimento de pesquisas passa a ser de suma importância para a indicação de variedades adequadas ao Centro-Oeste favorecendo a obtenção de altas produtividades mesmo em condições recursos hídricos limitados.

A seca é a principal causa da redução da produtividade na cultura da mandioca. De maneira geral, a redução da disponibilidade de água no solo pode causar o decréscimo no conteúdo de água da planta e a redução do turgor, resultando em diminuição da expansão celular, alterando a estabilidade das membranas, estruturação de organelas e a eficiência dos fotossistemas (BHARGAVA e SAWANT, 2013; ALMEIDA et al., 2014), comprometendo a produção (OSAKABE et al., 2014). Portanto, o desenvolvimento de variedades tolerantes contribui para o aumento da fronteira agrícola ao tornar aptas áreas antes inaptas ao cultivo da mandioca.

Plantas tolerantes desenvolveram mecanismos complexos para sobreviver em ambientes com baixa disponibilidade hídrica, passando por mudanças morfológicas, bioquímicas e fisiológicas (CLAEYS E INZE, 2013). Dentre esses mecanismos, as plantas tentam evitar ou reduzir o estresse hídrico pelo fechamento precoce dos estômatos para diminuir a perda de água, assim como pelo desenvolvimento de um sistema radicular profundo, redução no crescimento da parte aérea e acelerando a senescência foliar (ZHAO et al., 2015). A estratégia de conseguir manter as taxas fotossintéticas com a menor perda de água possível, apresentando alta eficiência no uso da água, já foi descrita para variedades de mandioca tolerantes à seca (CARVALHO et al., 2016).

Todavia, além dessas diversas mudanças fisiológicas e metabólicas induzidas em plantas quando submetidas ao estresse hídrico, destaca-se também o acúmulo de compostos osmoticamente compatíveis, como ácidos orgânicos, açúcares e aminoácidos, que auxiliam a manutenção do status hídrico da planta pelo ajustamento osmótico (CARVALHO et al., 2016). Além das enzimas antioxidantes, como a dimutase do superóxido, catalase, peroxidase do ascorbato, que atuam na redução dos radicais livres, reduzindo o estresse oxidativo. No entanto, o sucesso dessas adaptações pelas variedades depende de diversos fatores, incluindo a severidade e duração do estresse (ZHAO et al., 2015). Esses mecanismos de defesa interferem significativamente no fenótipo das plantas de mandioca e supostamente, podem estar associados com a plasticidade fenotípica da espécie (OKOGBENIN et al., 2013; RIBEIRO et al., 2014).

A plasticidade consiste na variação da expressão fenotípica de um genótipo que ocorre em resposta à condições especiais e que aumenta a capacidade do indivíduo de sobreviver e se reproduzir sob essas condições (GONDIM et al., 2014). Os dados de plasticidade oferecem uma visão mais completa e complexa do desenvolvimento e variada capacidade de resposta

adaptativa ao ambiente de cultivo das plantas. Assim, o conhecimento da plasticidade fenotípica de variedades de mandioca em condições hídricas e climáticas da região Centro-Oeste visando à exploração do potencial produtivo, torna-se um passo inicial para a determinação do potencial real da cultura na região e para a possível indicação de algum genótipo para o plantio comercial no Cerrado.

Apesar da mandioca ser considerada uma cultura tolerante à seca, existem diferenças entre as variedades que podem apresentar-se muito susceptíveis à restrição hídrica nas condições de campo (OLIVEIRA et al., 2015; ZHAO et al., 2015). Portanto, o entendimento de estratégias relacionados à tolerância ao estresse hídrico para a seleção de variedades altamente produtivas em ambientes com baixa disponibilidade hídrica são importantes para a manutenção da produtividade.

2 OBJETIVO

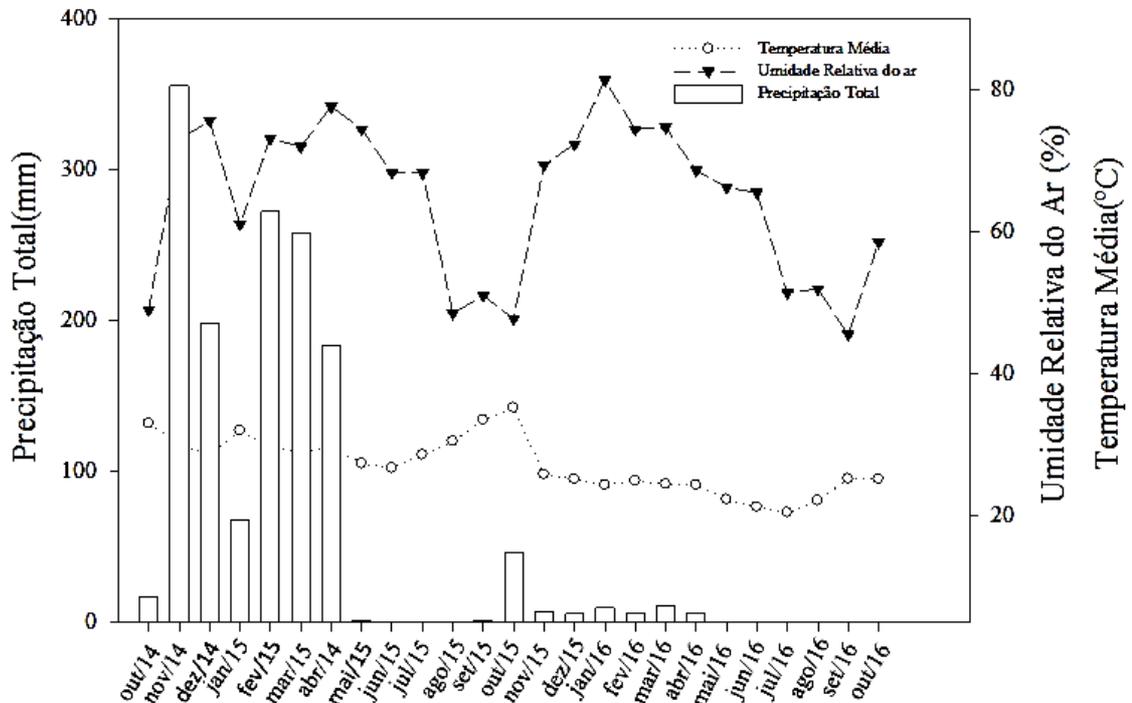
O presente estudo teve como objetivo classificar e identificar as variedades de mandioca quanto a tolerância ao déficit hídrico.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material vegetal e condições de cultivo

Os trabalhos foram conduzidos no campo experimental da Universidade Estadual de Goiás, Campus Ipameri (17° 67' 90" S, 48° 19' 59" W e altitude de 805 m) e em casa de vegetação. Essa região possui clima tropical úmido segundo a classificação de Köppen, com verão chuvoso (outubro a março) e inverno seco (abril a setembro). Foram avaliadas quatro variedades de mandioca: Comuquem, Cidade Rica, Manteiga e Formosa, doadas pela Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, Bahia, Brasil.

Figura 1. Precipitação total, umidade relativa do ar e temperatura média durante a condução



dos experimentos de campo. Fonte: INMET, 2016.

Foram implantados dois experimentos semelhantes em campo em anos distintos, sendo o primeiro na safra 2014/15 e o segundo em 2015/16. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo (EMBRAPA SOLOS, 2013). Estacas com 40 cm de comprimento foram implantadas em campo nos meses de novembro de cada ano, com espaçamento de 1x1 m. Os experimentos foram montados em blocos causalizados com quatro tratamentos (variedades) e quatro repetições, com oito plantas por cada parcela útil. Durante o primeiro período experimental (2014/2015), as plantas receberam precipitação elevada (>100 mm/mês) seguidas de três meses sem precipitação precedentes às avaliações

morfofisiológicas e mais dois meses de seca até o momento da colheita (Figura 1). No segundo experimento (2015/2016), a precipitação no período inicial de cultivo apresentou média mensal inferior a 10 mm, seguidos dos mesmos três meses de seca para avaliações morfofisiológicas e mais dois meses de seca para colheita, quando as plantas apresentavam 11 meses de idade. Para as plantas cultivadas em campo foram avaliadas: teor relativo de água, pigmentos fotossintéticos, altura, diâmetro do caule e produtividade.

Para o experimento em casa de vegetação o ambiente foi coberto com plástico transparente e nas laterais foi utilizado sombrite com 50% de interceptação da radiação solar. Foram utilizadas estacas (20 cm de comprimento) oriundas do primeiro experimento de campo (2014/2015). As estacas foram plantadas em vasos com capacidade para 12 L, contendo substrato composto por latossolo vermelho-amarelo, areia e esterco (3:1:0,5). O experimento foi conduzido em blocos casualizados em esquema fatorial 5x4, com cinco reposições hídricas (20, 40, 60, 80 e 100% do volume de água referente à evapotranspiração) e quatro variedades de mandioca (Formosa, Manteiga, Cidade Rica e Comuquem), com quatro repetições, utilizando-se uma planta por unidade experimental.

A imposição dos tratamentos hídricos foi realizada baseada na evapotranspiração da cultura. A evapotranspiração da cultura (ETc) foi determinada utilizando-se a equação:

$$ETc = ETo \times kc$$

Onde:

ETo = Evapotranspiração de referência

kc = coeficiente da cultura

O cálculo da ETo diária foi feito pelo método de Penman-Monteith recomendado pela FAO (SMITH et al., 1991) utilizando os dados diários de temperatura máxima e mínima do ar, umidade relativa do ar, insolação e velocidade do vento obtidos na Estação Meteorológica do INMET localizado no município de Ipameri, GO.

O coeficiente da cultura (kc) utilizado foi de 1,00, seguindo estimativa da FAO 56 (ALLEN et al., 1998) para um grupo de culturas em estágio de crescimento inicial. Utilizou-se um valor estimado uma vez que o kc ainda não foi determinado para *Manihot esculenta* nas condições de Ipameri, GO.

A imposição dos regimes hídricos foi realizada aos 60 dias após a rebrota e mantida por 20 dias. Após esse período foram realizadas as seguintes análises: teor relativo de água, transpiração, pigmentos fotossintéticos, extravasamento de eletrólitos, açúcares, amido, altura, diâmetro do caule, número de folhas e biomassa.

3.2 Variáveis morfofisiológicas

Para obtenção do teor relativo de água (TRA) discos foliares (9 cm²) foram pesados (massa fresca) e imersos em água destilada por quatro horas. Em seguida, os discos foram pesados para obtenção da massa túrgida e manidos em estufa a 70°C por 72 h, quando então obteve-se o peso seco. Para calcular o teor relativo de água utilizou-se a seguinte fórmula:

$$\text{TRA} = (\text{massa fresca} - \text{massa seca}) \times 100 / (\text{massa túrgida} - \text{massa seca})$$

Para a avaliação dos pigmentos fotossintéticos, discos foliares (5,6 cm²) foram macerados em almorafiz com aproximadamente 100 mg de CaCO₃ e areia e 5 mL de acetona (80%). A extração foi realizada em ambiente com luz verde. O extrato foi filtrado e o volume ajustado para 25 mL. Uma alíquota foi lida em espectrofotômetro a 470, 646,8 e 663,2nm. Os conteúdos de clorofila *a* (Cl *a*), clorofila *b* (Cl *b*) e clorofilas totais (Cl *a+b*) foram determinados seguindo Lichthenthaler (1987).

A permeabilidade de membranas foi avaliada pela taxa de extravasamento de eletrólitos (TLE). Discos foliares (13,5 cm²) foram imersos em 30 mL de água destilada e mantidos à temperatura ambiente por 24 h. Após esse período, a condutividade livre das amostras foi avaliada em condutivímetro e os tubos foram colocados em estufa, a 100 °C para determinação da condutividade total. O TLE (%) foi calculado de acordo com metodologia descrita por Vasquez-Tello et al. (1990) e Pimentel et al. (2002).

As análises de crescimento consistiram da medição da altura de planta, diâmetro do caule, e masa seca de folhas, caules e raízes. Com os dados de massa seca calculou-se a razão de massa da folha (RMF), razão de massa da raiz (RMR), razão de massa do caule (RMC), razão de massa da maniva (RMM) e biomassa total.

Para avaliação da produtividade, as raízes de cada planta foram pesadas e transformadas em ton ha⁻¹.

3.3 Índice de plasticidade

O índice de plasticidade fenotípica foi calculado com base na distância relativa (RD) entre os valores dos tratamentos, de acordo com Valladares et al. (2006). Para cálculo do RDPI (*Relative Distance Plasticity Index*) utilizou-se da seguinte fórmula:

$$\text{RDPI} = \sum (\text{dij } i'j' / (\text{xi}'j' + \text{xij})) / n$$

Em que *i* refere-se aos tratamentos; *j* às repetições; *n* ao número total de repetições; *dij i'j'* à distância relativa entre os tratamentos com os valores das repetições tomados aos pares com *i* diferente de *i'* (variedades de mandioca) e valor absoluto obtido pela diferença *xi'j' - xij*. Portanto, a distância relativa, *rdij i'j'* é definida como *dij i'j' / (xi'j' + xij)* para todos os

pares de repetições dos tratamentos associados as diferentes variedades de mandioca. O RDPI varia de 0 a 1.

3.5 Variáveis bioquímicas

As avaliações bioquímicas foram realizadas utilizando amostras da terceira folha completamente expandida, a partir do ápice previamente congeladas em nitrogênio líquido. Para a quantificação das enzimas antioxidantes, aproximadamente um grama de material vegetal foi homogeneizado em 3 ml de solução tampão de fosfato de sódio (0,05M, pH 7,8, EDTA 1 mM e PVP 2% p/v). O homogeneizado foi centrifugado a 13 000 xg, por 20 min, a 4 ° C. O sobrenadante (extrato bruto) foi utilizado para determinar a atividade enzimática e o teor de proteína (ZHU et al., 2004).

A atividade da catalase (CAT) foi determinada conforme Aebi (1984). Trinta microlitros do extrato bruto foram adicionados à solução de reação (tampão fosfato de potássio 15 mM, pH 7,0, H₂O₂). A atividade foi monitorada até desaparecimento do H₂O₂ medindo a redução da absorvância a 240 nm. Os resultados foram expressos como unidade de proteína enzima mg⁻¹ (proteína U mg⁻¹).

A atividade da peroxidase de guaiacol (POD) foi determinada de acordo com Zeraik et al. (2008), utilizando guaiacol como substrato. Cinquenta microlitros do extrato bruto foram adicionados à 1,0 mL da solução de reação (tampão fosfato de potássio, 100 mM, pH 6,5; 1,0 mL de guaiacol 15 mM e 1,0 mL de H₂O₂ 3 mM). A atividade enzimática foi medida por oxidação de guaiacol em tetraguaiacol pelo aumento da absorvância a 470 nm. O coeficiente de extinção molar de 26,6 mM⁻¹ cm⁻¹ foi utilizado para o cálculo. Os resultados foram expressos como unidade de proteína enzima mg⁻¹ (proteína U mg⁻¹).

A atividade da dismutase do superóxido (SOD) foi medida de acordo com o método espectrofotométrico descrito por Giannopolitis e Ries (1977). Cem microlitros do extrato bruto foram adicionados à solução de reação (tampão de fosfato de potássio 50 mM, pH 7,8; metionina 13 mM, riboflavina 2 µM, azul de nitro-tetrazólio 75 µM e EDTA 0,1 mM). A atividade enzimática foi estimada conforme, Beauchamp e Fridovich (1971) e expressa por proteína.

A peroxidase do ascorbato (APX) foi determinado de acordo Zhu et al. (2004). Cem microlitros do extrato bruto foram adicionados à solução de reação (tampão de fosfato de sódio 25 mM, pH 7,0; EDTA 0,1 mM, ascorbato 0,25 mM e H₂O₂ 1,0 mM. A oxidação dependente de H₂O₂ do ascorbato foi seguido por uma diminuição na absorvância a 290 nm ($\epsilon = 2,8 \text{ l mmol l}^{-1} \text{ cm}^{-1}$). Os resultados foram expressos como unidade de proteína enzima mg⁻¹ (proteína U mg⁻¹).

O conteúdo de proteínas solúveis totais foi determinada a partir de 25 µL de extrato bruto misturados à solução de reação (Coomassie Blue G 250 preparado com ácido

ortofosfórico e etanol). A leitura foi realizada em espectrofotômetro, a 595 nm (BRADFORD, 1976).

Para a análise dos açúcares e amido, aproximadamente 200 mg de tecido foliar foi imerso em etanol 80 % e aquecido a 65 °C por 30 minutos. O extrato foi centrifugado e o sobrenadante coletado em novo tubo. Realizou-se três lavagens do material vegetal para obtenção do extrato final. O extrato etanólico foi utilizado para determinação dos açúcares solúveis totais, redutores e não redutores. O resíduo sólido da extração foi seco em estufa a 65 °C, durante 72 h, sendo posteriormente utilizado para a determinação do teor de amido. A determinação dos teores de açúcares e amido foram realizadas utilizando espectrofotômetro (Evolution 60S, Thermo Fischer Scientific®, Madison, Estudos Unidos). Os resultados obtidos foram expressos em porcentagem.

Para a quantificação de açúcares solúveis totais foi empregado o método fenol-sulfúrico (DUBOIS et al., 1956), com leitura realizada ao comprimento de onda de 490 nm, utilizando uma curva padrão de sacarose. Os açúcares redutores foram determinados conforme método do ácido dinitrosalicílico, segundo Miller, (1959), ao comprimento de onda de 540 nm, utilizando uma curva padrão de glicose. Os açúcares não redutores foram estimados pelas diferenças entre os teores de açúcares solúveis totais e redutores. O amido foi determinado segundo McCready et al., (1950) ao comprimento de onda de 490 nm, utilizando uma curva padrão de sacarose de intervalo de 0 a 50 µg.

3.6 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas empregando-se o teste de Newman Keuls ao nível 5% de probabilidade (campo), quando significativos submetidos à análise de regressão (casa de vegetação) utilizando o programa SISVAR (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS

O resumo da análise de variância para as variáveis analisadas em campo nos dois anos de cultivo é mostrado na tabela 1. O diâmetro do caule, altura, teor relativo de água, carotenoides totais e produtividade apresentaram diferenças significativas entre os anos de avaliações. Sendo que, no primeiro ano as variáveis diâmetro do caule, altura, teor relativo de água, carotenoides totais e produtividade apresentaram incrementos de 36,72%, 86,68%, 5,57%, 69,61% e 30,39%, respectivamente, quando comparadas ao segundo ano de avaliação. O diâmetro do caule, concentração foliar de carotenoides e produtividade diferiram entre as variedades, de forma que Comuquem e Formosa obtiveram maior diâmetro do caule (15,88% e 13,55%), produtividade (65,69% e 53,02%) e concentração foliar de carotenoides (40,36% e 36,26%) em relação as variedades Manteiga e Cidade Rica.

Tabela 1. Análise de variância e teste de média para altura (ALT), diâmetro do caule (DMC), carotenoides (CAR), clorofilas totais (Cl (a+b)), teor relativo de água (TRA) e produtividade em ton/ha⁻¹ (PROD) de variedades de *Manihot esculenta* submetidas ao estresse hídrico em campo nos anos 2014 e 2015.

| Fonte de Variação | GL | Quadrados Médios | | | | | |
|-------------------|----|--------------------|---------------------|--------------------|--|---------------------------|--------------------|
| | | ALT (cm) | DMC (mm) | TRA (%) | Cl _a /Cl _b (g kg ⁻¹) | CAR (g kg ⁻¹) | PROD (ton/ha) |
| Bloco | 3 | 2,17 ^{NS} | 16,75 ^{NS} | 0,35 ^{NS} | 0,06 ^{NS} | 0,05 ^{NS} | 0,85 ^{NS} |
| Ano | 1 | 0,01* | 2756,25** | 27,56** | 0,14 ^{NS} | 0,15** | 19,92** |
| Erro 1 | 3 | 0,18 | 35,41 | 0,93 | 0,03 | 0,01 | 0,48 |
| Variedade | 3 | 0,30 ^{NS} | 91,04** | 1,85 ^{NS} | 0,08 ^{NS} | 0,03** | 5,72** |
| Ano x Varie. | 3 | 0,18 ^{NS} | 22,12 ^{NS} | 1,02 ^{NS} | 0,04 ^{NS} | 0,03** | 12,06** |
| Erro 2 | 18 | 0,19 | 19,81 | 1,11 | 0,06 | 0,002 | 0,67 |
| CV 1 (%) | | 15,98 | 20,39 | 11,43 | 13,20 | 10,42 | 26,33 |
| CV 2 (%) | | 16,66 | 15,25 | 12,48 | 16,71 | 11,66 | 24,45 |
| Ano | | Médias | | | | | |
| 1° | | 90,12a | 35,75a | 91,70a | 1,41a | 0,46a | 32,7a |
| 2° | | 78,12b | 22,62b | 86,60b | 1,55a | 0,32b | 16,9b |
| Variedades | | Médias | | | | | |
| Comuquem | | 2,81a | 32,75a | 83,02a | 1,33a | 0,45a | 34,2a |
| Manteiga | | 2,57a | 28,31b | 86,47a | 1,36a | 0,40a | 20,1b |
| Formosa | | 2,49a | 27,81b | 84,64a | 1,28a | 0,42a | 28,2a |
| Cidade Rica | | 2,64a | 27,81b | 88,47a | 1,36a | 0,29b | 14,4c |

** significativo a 1%, * significativo a 5% de probabilidade; NS = não significativo pelo teste F. Médias seguidas por uma mesma letra minúscula dentro da coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Newman-Keuls.

Os desdobramentos das interações significativas entre variedades e anos de avaliações para carotenoides e produtividade são mostrados na tabela 2. Os resultados representados pela concentração de carotenoides, mostram que houve um incremento de 90,96% e 73,40%, respectivamente no primeiro ano de avaliação para as variedades Manteiga e Cidade Rica. As variedades Comuquem e Formosa apresentaram incrementos de 62,50% e 59,25%,

respectivamente, no segundo ano. Todos os materiais apresentaram decréscimos de produtividade nos dois anos de cultivo, no entanto as variedades Comuquem e Formosa obtiveram maiores resultados nos dois anos de avaliações, no segundo ano os decréscimos foram de 40,44% e 42,72%, enquanto as variedades Manteiga e Cidade apresentaram decréscimos de 56,80% e 72,51%, respectivamente.

Tabela 2. Carotenoides e produtividade de variedades de *Manihot esculenta* submetidas ao estresse hídrico em campo nos anos 2014 e 2015.

| Variedades | Carotenoides (g kg ⁻¹) | | Produtividade (ton ha ⁻¹) | |
|-------------|------------------------------------|----------|---------------------------------------|--------|
| | 1º Ano | 2º Ano | 1º Ano | 2º Ano |
| Cidade Rica | 0,282 bB | 0,310 aB | 17,1bC | 12,4bA |
| Comuquem | 0,585 aA | 0,317 aB | 53,9aB | 21,8aA |
| Formosa | 0,520 aA | 0,325 aB | 44,0aA | 18,8aA |
| Manteiga | 0,470 aA | 0,345 aB | 25,7aA | 14,6bA |

Letras minúsculas indicam diferença significativa entre as variedades; letras maiúsculas indicam diferenças significativa entre os anos dentro das variedades pelo teste de Newman Keuls a 5% de significância.

A análise da plasticidade fenotípica (Tabela 3) demonstrou que as variáveis fisiológicas/produzidas com maiores valores de índice de plasticidade fenotípica foram: produtividade (0,78), razão de clorofila *a* e *b* (0,46), altura planta (0,36) e clorofilas totais (0,34).

Tabela 3. Índice de plasticidade para características fisiológicas/produzidas de variedades de *Manihot esculenta* submetidas ao estresse hídrico em campo nos anos de 2014 e 2015.

| Características Fisiológicas/Produzidas | Índice de plasticidade |
|---|------------------------|
| Altura da planta | 0,36 b |
| Carotenoides | 0,10 b |
| Razão de clorofila <i>a</i> e <i>b</i> | 0,46 b |
| Clorofilas totais | 0,34 b |
| Teor Relativo de água | 0,02 c |
| Produtividade | 0,78 a |
| Média | 0,34 |

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

Os gráficos referentes às variáveis altura, biomassa, número de folhas e diâmetro, obtiveram ajuste significativo para equações lineares, em relação aos volumes de água referente a evapotranspiração diária encontram-se na Figura 1. Para a altura de planta e biomassa total constatou-se que as variedades Comuquem e Formosa apresentaram incremento em altura de até 80,15% e biomassa total foi de 120,11% e 115,07%, respectivamente, superior as demais variedades. O diâmetro do caule apresentou incremento de 13,07% para as variedades Comuquem e Formosa. O número de folhas foi reduzido em

condições de baixa disponibilidade hídrica para as variedades suscetíveis ao déficit hídrico (Manteiga e Cidade Rica).

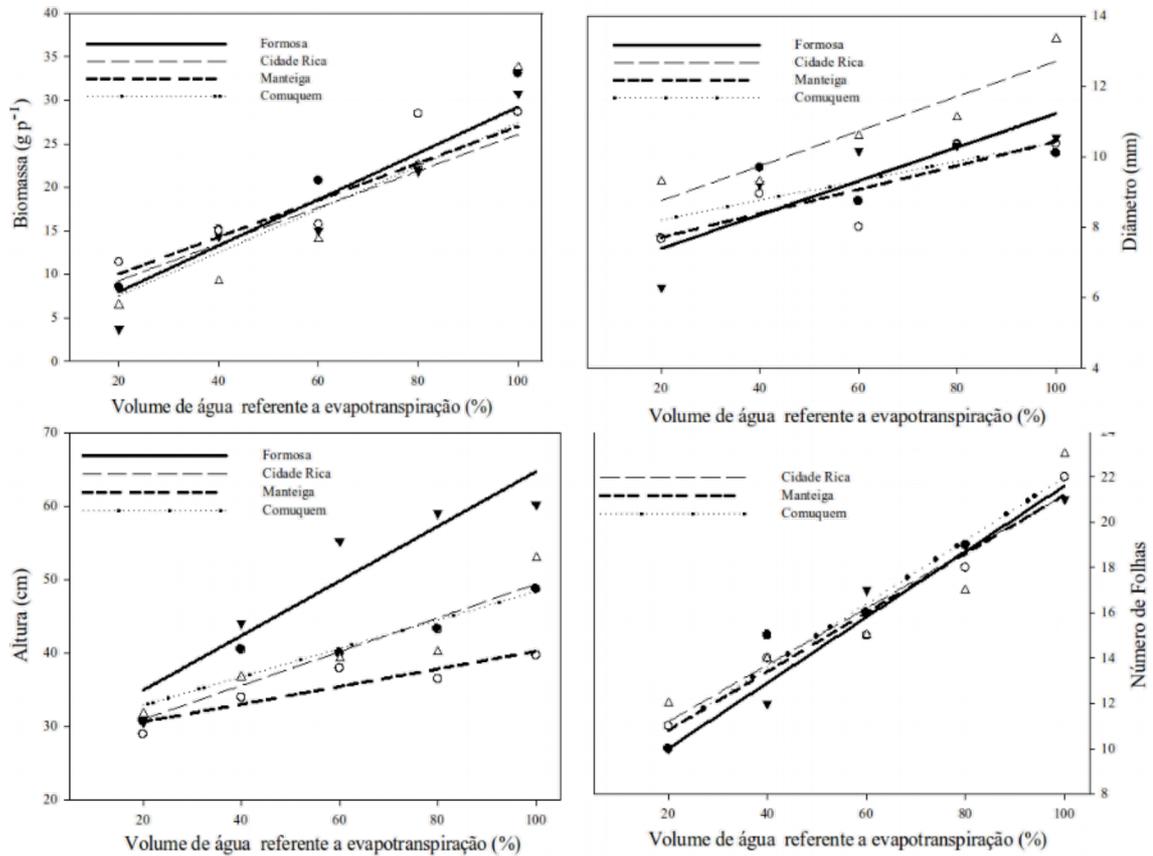


Figura 1: Equações de regressão para número de folhas (Formosa: $Y = 8,50 + 0,13 R^2 = 0,99^{**}$, Cidade Rica: $Y = 7,57 + 0,14 R^2 = 0,98^{**}$, Manteiga: $Y = 9,50 + 0,11 R^2 = 0,98^{**}$ e Comuquem: $Y = 7,27 + 0,15 R^2 = 0,99^{**}$), altura de planta (Formosa: $Y = 29,02 + 0,19 R^2 = 0,99^{**}$, Cidade Rica: $29,22 + 0,10 R^2 = 0,99^{**}$, Manteiga: $27,45 + 0,37 R^2 = 0,76^{**}$ e Comuquem: $Y = 26,70 + 0,22 R^2 = 0,98^{**}$), diâmetro do caule (Formosa: $Y = 7,66 + 0,02 R^2 = 0,97^*$, Cidade Rica: $Y = 7,03 + 0,03 R^2 = 0,98^{**}$, Manteiga: $Y = 6,43 + 0,04 R^2 = 0,58^{**}$ e Comuquem: $Y = 8,69 + 0,03 R^2 = 0,98^{**}$) e biomassa (Formosa: $Y = 2,67 + 0,26 R^2 = 0,92^{**}$, Cidade Rica: $5,10 + 0,20 R^2 = 0,95^{**}$, Manteiga: $Y = 5,79 + 0,21 R^2 = 0,97^{**}$ e Comuquem: $Y = 2,60 + 0,24 R^2 = 0,94^{**}$) de cultivares de mandioca submetidas a diferentes volumes de água referente a evapotranspiração diária. Significativas * 5% e ** 1% de probabilidade pelo teste F.

Os gráficos para as variáveis açúcares solúveis, açúcares redutores açúcares, não redutores e amido, obtiveram ajuste significativo para equações quadráticas em relação aos volumes de água referente a evapotranspiração diária, encontram-se na Figura 2. As variáveis açúcares solúveis, açúcares redutores, açúcares não redutores e amido foram influenciadas pela baixa disponibilidade hídrica, observou-se que a variável açúcares redutores aumentou a atividade, apresentando efeito inverso das demais variáveis quando submetidas em condição de deficiência hídrica. Entretanto, a variedade Cidade Rica reduziu 62,79% de amido e

açúcares redutores em relação as demais, ao passo que a medida que foi maior a restrição hídrica diminuiu a 80,65% de açúcares não solúveis.

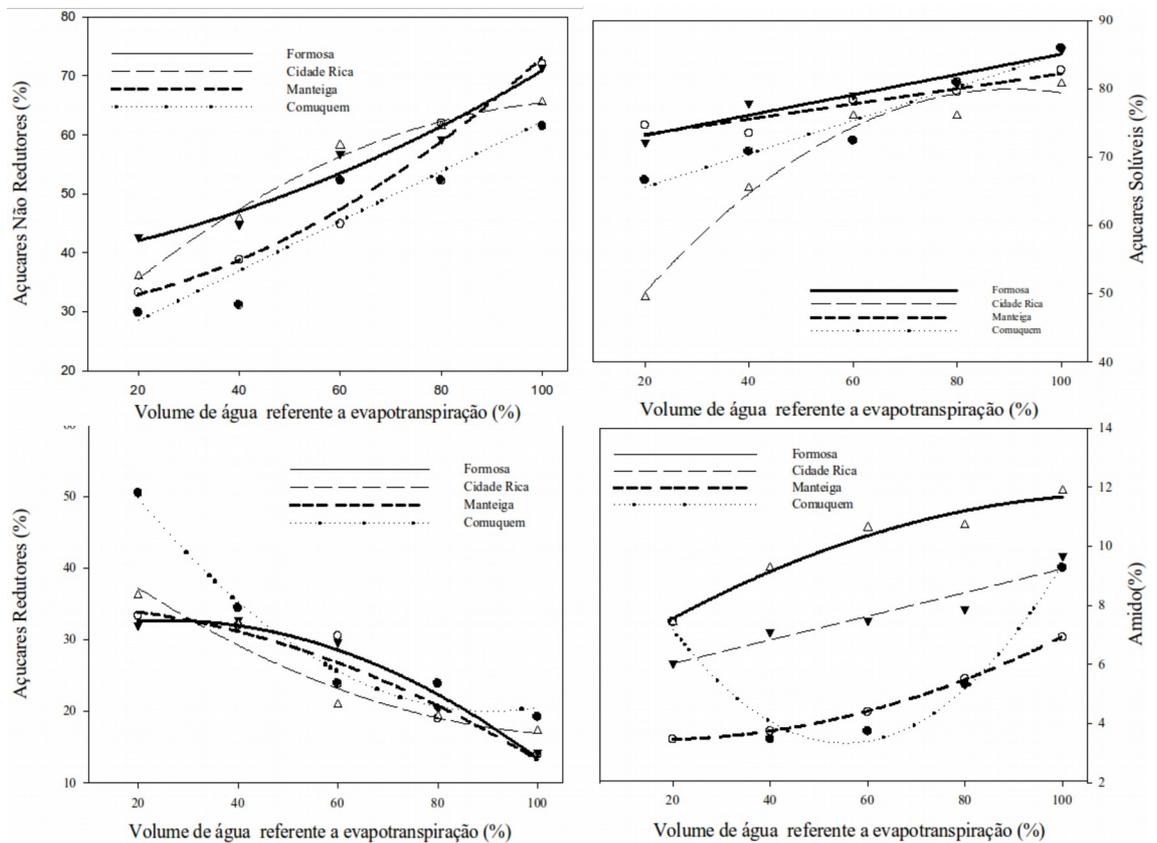


Figura 2: Equações de regressão para açúcares não redutores (Formosa: $Y = 20,71 + 0,812x - 0,003x^2$ $R^2 = 0,99^{**}$, Cidade Rica: $38,58 + 0,135x + 0,001x^2$ $R^2 = 0,99^{**}$, Manteiga: $29,97 + 0,07x + 0,003x^2$ $R^2 = 0,99^{**}$ e Comuquem: $Y = 20,07 + 0,42x$ $R^2 = 0,99^{**}$), açúcares redutores (Formosa: $Y = 30,39 + 0,18x - 0,003x^2$ $R^2 = 0,99^*$ Cidade Rica: $Y = 47,23x - 0,54 + 0,0002x^2$ $R^2 = 0,99^{**}$, Manteiga: $Y = 35,01 - 0,01x - 0,002x^2$ $R^2 = 0,99^{**}$ e Comuquem: $Y = 69,07 - 1,08x + 0,006x^2$ $R^2 = 0,99^*$), açúcares solúveis (Formosa: $Y = 75,37 - 0,09x + 0,009x^2$ $R^2 = 0,99^*$, Cidade Rica: $67,95 + 0,26x - 0,001x^2$ $R^2 = 0,99^*$, Manteiga: $Y = 64,98 + 0,06x + 0,001x^2$ $R^2 = 0,99^*$ e Comuquem = $Y = 30,92 + 1,08x - 0,006x^2$ $R^2 = 0,99^*$) e amido (Formosa: $Y = 5,58 + 0,10x - 0,0005x^2$ $R^2 = 0,99^*$ Cidade Rica: $5,22 + 0,04x$ $R^2 = 0,99^*$, Manteiga: $3,57 - 0,015 + 0,005x^2$ $R^2 = 0,99^*$ e Comuquem: $Y = 12,75 - 0,33x + 0,0005x^2$ $R^2 = 0,99^*$), de plantas de mandioca cultivadas em casa de vegetação sob diferentes volumes de água referente a evapotranspiração diária. Equações de regressão significativas *5% e ** 1% de probabilidade.

Os gráficos referentes as variáveis catalase, peroxidase, superóxido dismutase e transpiração, obtiveram ajuste significativo para equações lineares e/ou quadráticas em

relação aos volumes de água referente a evapotranspiração diária Figura 3. Os resultados demonstram que as variedades Comuquem e Formosa obtiveram uma maior atividade das enzimas catalase, peroxidase, superóxido dismutase quando exposta a baixo regime hídrico. As variedades Comuquem e Formosa apresentaram transpiração cerca de 239,37% maior que as variedades Manteiga e Cidade Rica quando mantidas sob restrição hídrica.

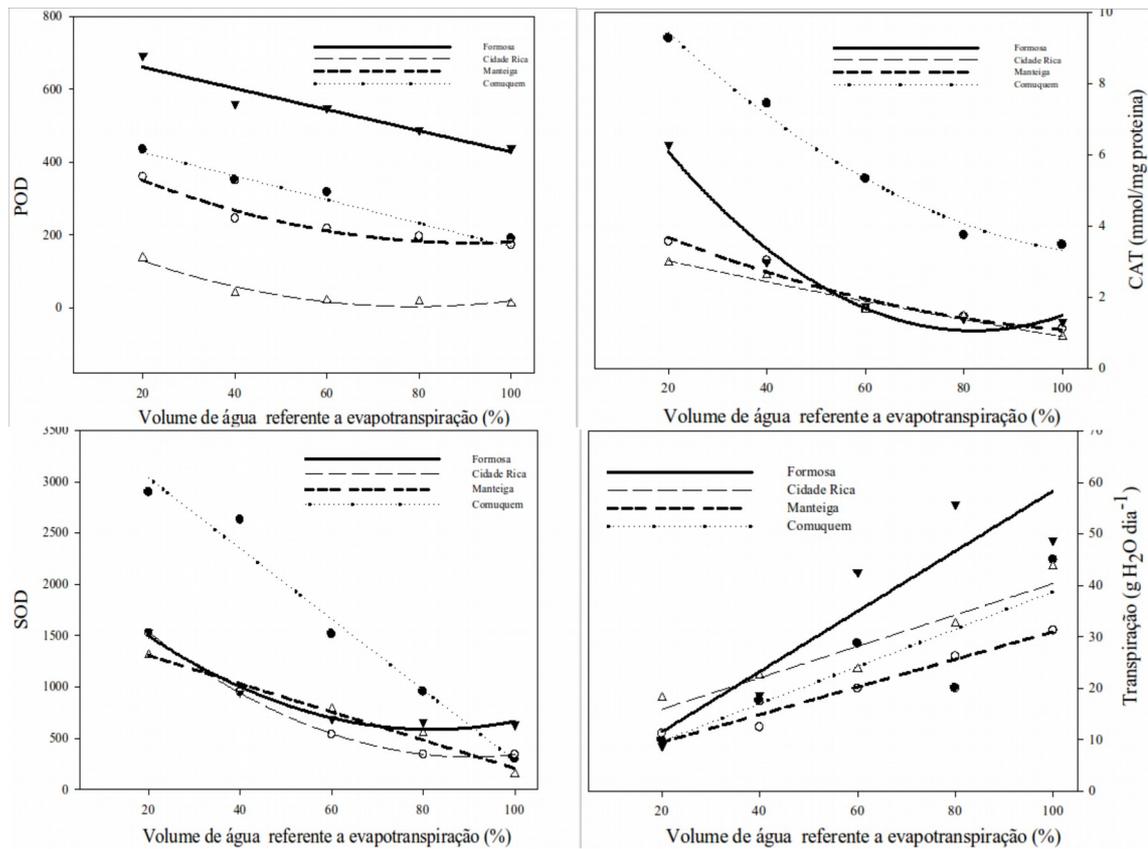


Figura 3: Equações de regressão para *superóxido dismutase* (sod) (Formosa: $Y = 1516,32 - 10,42x$ $R^2 = 0,99^{**}$, Cidade Rica: $Y = 15181,4 - 13,78x$ $R^2 = 0,99^{**}$, Manteiga: $Y = 1633,92 - 14,89x$ $R^2 = 0,86^*$ e Comuquem: $Y = 3723,71 - 34,391x$ $R^2 = 0,93^{**}$), catalase (CAT) (Formosa: $Y = 6,19 - 0,05x$ $R^2 = 0,76^*$, Cidade Rica: $Y = 9,85 - 0,21x$ $R^2 = 0,99^*$, Manteiga $Y = 4,11 - 0,03x$ $R^2 = 0,93^*$ e Comuquem: $Y = 10,43 - 0,07x$ $R^2 = 0,95^{**}$), peroxidase (POD) (Formosa: $Y = 769,34 - 4,41x$ $R^2 = 0,99^{**}$, Cidade Rica: $Y = 127,37 - 1,37x$ $R^2 = 0,99^*$, Manteiga: $Y = 365,81 - 2,12x$ $R^2 = 0,84^{**}$ e Comuquem $Y = 491,69 - 3,24x$ $R^2 = 0,93^*$) e transpiração (Formosa: $Y = 8,20 + 0,32x$ $R^2 = 0,80^*$, Cidade Rica: $Y = -8,87 + 0,4x$ $R^2 = 0,91^{**}$, Manteiga: $Y = -0,20 + 0,58x$ $R^2 = 0,89^{**}$ e Comuquem: $Y = 8,87 + 0,41x$ $R^2 = 0,91^{**}$) plantas de mandioca cultivadas em casa de vegetação sob diferentes volumes de água referente a evapotranspiração diária. Equações de regressão significativas * 5% e ** 1% de probabilidade.

5 DISCUSSÃO

A seca é um dos estresses mais comum no cenário atual que afeta o crescimento das plantas e a produtividade em todo o mundo. Sabe-se que em condições de seca, os processos fisiológicos, morfológicos e bioquímicos são alterados nas plantas. Embora a mandioca seja uma cultura tolerante à seca, as estratégias das plantas ao estresse não têm sido extensivamente exploradas. O regime de chuva associado com a temperatura média e umidade relativa do ar acentuam o déficit hídrico ocasionado pelas chuvas reduzidas.

As variáveis de crescimento e produção de plantas de mandioca foram afetadas pelo estresse hídrico, uma vez que o crescimento depende da divisão celular, do alongamento e da diferenciação celular. A redução da biomassa total em situação de déficit hídrico é evento comum em plantas de mandioca. A redução do número de folhas em plantas sob baixa disponibilidade hídrica é uma importante estratégia de sobrevivência, para evitar a perda de água por transpiração. O ajustamento da área foliar total e número de folhas são necessários para suportar o estresse imposto e aclimatar-se a nova condição (KOZLOWSKI, 1976; SHARP et al., 2004).

As plantas de mandioca apresentaram diferenças no índice plasticidade fenotípica, com maiores variações para as variáveis produtivas em condições de baixo regime hídrico. Assim, com base nesses resultados, sugere-se que as variedades de mandioca cultivadas no cerrado, possuem habilidades em alterar caracteres fenotípicos em decorrência da interação com o ambiente, contribuindo para a estabilidade final da produção. A plasticidade das variáveis fisiológicas pode facilitar na manutenção de um nível estável da produtividade, no desenvolvimento, a variação de um componente compensar a variação de outro (GONDIM et al., 2014). O baixo índice de plasticidade fenotípica do teor relativo denota ser uma característica fisiológica estável de adaptação evolutiva da planta de mandioca mantendo seus processos metabólicos mesmo sob déficit hídrico.

Segundo Begger e Turner (1976) a manutenção da turgência durante alterações da disponibilidade de água para as plantas pode garantir a sobrevivência da mesma mediante a continuidade dos processos metabólicos. Matos et al. (2016), ao estudarem cultivares de mandioca sob déficit hídrico, relataram que todas as cultivares apresentaram reduções no crescimento em altura e, principalmente em produtividade, porém mantiveram o teor relativo de água estável sugerindo que as plantas de mandioca apresentam como estratégia de tolerância à seca o retardo da desidratação.

O retardo da desidratação é importante mecanismo de tolerância a seca das plantas e muitas das vezes está ligado com o eficiente mecanismo de controle da transpiração via fechamento dos estômatos (MATOS et al., 2014). No entanto, apesar da variedade Formosa ter maior controle da transpiração quando comparadas à cultivares suscetíveis ao estresse

hídrico, a hidratação dos tecidos se assemelham. Além disso, o não rompimento da membrana, através do extravasamento de eletrólitos, indica que o déficit hídrico possivelmente não tenha atingido o nível severo, porém suficiente para expressar carotenoides.

A maior concentração de carotenoides das variedades Formosa e Comuquem está relacionada com eficiente forma de fotoproteção da espécie, conforme relatado por Pompelli et al (2010). Os carotenoides apresentam importante função no processo de fotoproteção, já que o β -caroteno é um potente extintor de clorofila tripleto nos complexos-antena (TREBEST et al., 2002), portanto, o incremento de sua concentração indica uma maior capacidade de fotoproteção dessas variedades.

As plantas têm uma proteção interna catalisador que limpa o sistema em situações de déficit hídrico, pois nesta circunstância é constante a produção de espécies reativas de oxigênio, com isso todo o sistema defensivo precisa ser \, a fim de resistir às espécies reativas de oxigênio (WANG et al., 2003). Portanto, a indução das enzimas antioxidantes superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD) e catalase (CAT) que as variedades Formosa e Comuquem denotaram, são indicadores de tolerância à seca.

Em condições de estresse hídrico, há uma tendência dos teores de amido e açúcares solúveis reduzirem, sendo que, quando as plantas são submetidas à seca apresentam redução na concentração de amido para formar açúcares solúveis, ou seja, a diminuição na concentração de amido é acompanhada pelo aumento da concentração de carboidratos (KRAMER e BOYER 1995). Duque e Setter (2013) notaram, em plantas de mandioca submetidas ao estresse hídrico, a diminuição da concentração de açúcares e amido em folhas, indicando que as folhas são fontes limitadas de reserva de carboidratos durante estresse prolongado. Melo et al. (2007), afirmam que uma diminuição no teor de amido não acompanhada pelo aumento no teor de açúcares solúveis pode indicar que esteja ocorrendo o consumo imediato dos açúcares para a manutenção da sobrevivência das plantas, corroborando com resultados vistos neste trabalho, onde a variedade Cidade Rica, seguida pela Manteiga apresentaram comportamento mais compatível com essa afirmação. Para as demais variedades que são tolerantes, a elevação nos teores de carboidratos possivelmente está relacionada com o melhor ajustamento osmótico para manutenção dos níveis de água nas folhas.

As variedades Comuquem e Formosa apresentaram maior capacidade de reter água nas folhas, maiores concentrações de carotenoides, redução da área transpiratória, maior acúmulo de amido, açúcares solúveis e aumento da atividade das enzimas antioxidantes. Essas características foram responsáveis pela indução da tolerância dessas variedades ao estresse

hídrico contribuindo para melhor sustentação do crescimento e as altas produtividades dessas variedades.

6 CONCLUSÃO

As plantas de mandioca apresentam tolerância ao déficit hídrico e utilizam como estratégia de tolerância, maior capacidade de reter água nas folhas, maiores concentrações de carotenoides, redução da área transpiratória, maior acúmulo de amido, açúcares solúveis e aumento da atividade das enzimas antioxidantes, e em adição o retardo da desidratação.

As variedades Comuquem e Formosa foram caracterizadas como tolerantes e as variedades Manteiga e Cidade Rica como susceptíveis à condições de limitação hídrica na região do Cerrado.

7 REFERÊNCIAS

- AEBI, H. **Catalase in vitro**. Meth Enzymol, 1984 p.121-126.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Dranaige Paper, 56).
- ALMEIDA, C. O.; FUKUDA, W. M. G. **Memorias formosas: a trajetória de uma variedade de mandioca da seleção à avaliação de impactos**. Cruz das Almas, Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 88p..
- BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I.; Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**, v.8, p.276-287, 1971.
- BEGG, J. E.; TURNER, N. C. Crop water deficits. **Advance in Agronomy**, New York, v.28, p.61-217, 1976.
- BHARGAVA, S.; SAWANT, K. Drought stress adaptation: metabolic adjustment and regulation of gene expression (Review). **Plant Breeding**, v.132, n.1, p.21-32, 2013.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the qualification of microgram quantities of protein utlizy the principle of protein dye binding. **Analytical Biochemistry**, v.7, p.248-254, 1976.
- CARVALHO, L. M.; CARVALHO, H. W. L.; OLIVEIRA, I. R.; RANGEL, M. A. S.; SANTOS, V. S. Productivity and drought tolerance of cassava cultivars in the Coastal Tablelands of Northeastern Brazil. **Ciência Rural**, v.46, n.5, p.796-801, 2016.
- CLAEYS, H.; INZE, D. The agony of choice: how plants balance growth and survival under water- limiting conditions. **Plant Physiology**, v.162, p.1768–1779, 2013.
- EMBRAPA SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, 2013. 353p.
- FAOSTAT - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Production crops**. 2015. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 14 novembro de 2016.
- FUKUDA, W. M. G.; GUEVARA, C. L. **Descritores morfológicos e agronômicos para a caracterização de mandioca (Manihot esculenta Crantz)**. Cruz das Almas: Embrapa, 2006.
- GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K.; Purification and quantitative relationship with water-soluble protein in seedlings. **Journal of Plant Physiology**, v.48, p.315-318, 1977.
- GONDIM, T. M. S.; BELTRÃO, N. E. M.; PEREIRA, W. E.; OLIVEIRA, A. P.; SILVA FILHO, J. L. Plasticidade fenotípica da mamoneira precoce sob diferentes arranjos espaciais em consórcio com feijão caupi. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 1, p. 128-137, 2014.
- IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil, v.29 n.2 p.1-118, 2016.
- KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. Water relations of plants and soils. **Academic Press**, p.495, 1995.

- LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. **Methods in Enzymology**, v.148, p. 350-382, 1987.
- MATOS, F.S.; TORRES, H.D.J.; ROSA, V.R.; SANTOS P.G.F.; BORGES L.F.O.; NEVES T. G.; CRUVINEL C.K.L.; Estratégia morfofisiológica de tolerância ao déficit hídrico de mudas de pinhão manso. **Magistra**, Cruz das Almas – BA, V. 26, n. 1, p. 19 - 27, 2014.
- MATOS, F. S.; FELICIO, R.; SILVEIRA, P. S.; GUIMARÃES, R. R; SANTOS, P. G. F.; NASCENTE, A. C. S.; CUSTÓDIO, J. P. C.; SILVA, L. M. Produtividade de cultivares de mandioca sob déficit hídrico. **Revista Agri-Environmental Sciences**, v. 2, n. 1, p. 17-24, 2016.
- MCCREADY, R. M.; GUGGOLZ, J.; SILVIERA, V.; OWENS, H. S. Determination of starch and amylose in vegetables. **Application to peas Analytical Chemistry**, v.22, p.1156-1158, 1950.
- MELO, H. C. *et al.* Alterações anatômicas e fisiológicas em *Setaria anceps* Stapf ex Massey e *Paspalum paniculatum* L. sob condições de déficit hídrico. **Hoehnea**, v. 34, n. 02, p. 145-153, 2007.
- OKOGBENIN, E.; SETTER, T. L.; FERGUSON, M.; MUTEGI, R.; CEBALLOS, H.; OLASANMI, B.; FREGENE, M. Phenotypic approaches to drought in cassava: review. **Frontiers Physiology**, v.4, p.1-15, 2013.
- OLIVEIRA, E. J., AIDAR, S. T., MORGANTE, C. V., CHAVES, A. R. M., CRUZ, J. L., COELHO FILHO, M. A. Genetic parameters for drought-tolerance in cassava. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, p.233-241, 2015.
- OSAKABE, Y.; SHINOZAKI, K.; TRAN, L. S. P. Response of plants to water stress. **Frontiers Plant Science**, v.5, n.86, p.1-08, 2014.
- PIMENTEL, C.; SARR, B.; DIOUF, O.; ABOUD, A. C. S.; MACAULEY, H. R. Tolerância protoplasmática foliar à seca, em dois genótipos de caupi cultivados em campo. **Revista Universidade Rural Série Ciências da Vida**, v.22, p.7-14, 2002.
- POMPELLI, M. F.; BARATA-LUÍS, R.; VITORINO, H. S.; GONC, ALVES, E. R., ROLIM, E. V.; SANTOS, M. G.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S.; FERREIRA, V. M.; LEMOS, E. E. P.; ENDRES, L. Photosynthesis, photoprotection and antioxidant activity of purging nut under drought deficit and recovery. **Biomass and Bioenergy**, v.34, p.1207–1215, 2010.
- R CORE TEAM, R: **A language and environment for statistical computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria**. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 18 outubro de 2016.
- RIBEIRO, M. N. O. **Diversidade Genética e Anatomia Foliar em acessos de mandioca (*Manihot Esculenta*)**, 2010, 14 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.
- RIBEIRO, M. V.; DEUNER, S.; BENITEZ, L.C.; EINHARDT, A. M.; PETERS, J. A.; BRAGA E. J. B. Betacyanin and antioxidant system in tolerance to salt stress in *Alternanthera philoxeroides* betacyaninas y el sistema de antioxidantes en la tolerancia al estrés salino de *Alternanthera philoxeroides*. **Agrociência**, v.48, p.199-210, 2014.
- SAS Institute Inc. **Statistical analysis system user's guide**. Version 9.1. Ed. Cary, Statistical Analysis System Institute. 2006. 235p.

SHARP, R.E.; POROYKO, V.; HEJLEK, L.G.; SPOLLEN, W.G.; SPRINGER, G.K.; BOHNERT, H.J.; NGUYEN, H.T. Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics. **Journal of Experimental Botany, Missouri**, v.55, n.407, p.2343-2351, 2004.

SILVA D. V.; SANTOS J. B.; CARVALHO F. P.; FERREIRA E. A.; FRANÇA A. C.; FERNANDES J. S. C.; GANDINI E. M. M.; CUNHA V. C. Seletividade de herbicidas pós-emergentes na cultura da mandioca. **Planta Daninha**, v.30, p.835-841, 2012.

SMITH, M. **Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requiremebts**. Rome: FAO, 1991. 45p.

SOMOGYI, M. A. A new reagent for the determination of sugars. **Journal of Biology and Chemistry**, v.160, p.61-68, 1945.

TREBEST, A.; DEPKA, B.; HOLLÄNDER-CZYTKO, H. A specific role for tocopherol and of chemical singlet oxygen quenchers in the maintenance of photosystem II structure and function in *Chlamydomonas reinhardtii*. **FEBS Letters**, v.516, p.156-160, 2002.

VASQUEZ-TELLO, A. Y.; ZUILY-FODIL, A. T.; PHAM THI J.; VIEIRA, S. Electrolyte and Pi leakages and soluble sugar content as physiological tests for screening resistance to water stress in Phaseolus and *Vigna species*. **Experimental Botany**, v.41, p.827-32, 1990.

WANG, W.; VINOCUR, B.; ALTMAN, A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. **Planta**, v. 218, p.1-14, 2003.

ZERAIK, A.E.; SOUZA, F.S.; FATIBELLO-FILHO, O.; Development of a spot test for peroxidase activity monitoring during a purification procedure. **Química Nova**, v.31, p.731-734, 2008.

ZHAO, P.; LIU, P.; SHAO, J.; LI, C., WANG, B.; GUO, X.; YAN, B.; XIA, Y.; PENG, M. Analysis of different strategies adapted by two cassava cultivars in response to drought stress: ensuring survival or continuing growth. **Experimental Botany**, v.66, p.1477-1488, 2015.

ZHU, Z.; WEI, G.; LI, J.; QIAN, Q.; YU, J.; Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Plant Science**, v.167, p.527-533, 2004.