



Initial growth of cassava plants cv. Mossoró under different water regimes¹

Crescimento inicial de plantas de mandioca cv. Mossoró sob diferentes regimes hídricos

Domingos Ferreira de Mélo Neto^{*2}, Daniel Gomes Coelho³, Moab Torres de Andrade⁴, Jandelson de Oliveira Alves⁵

Abstract: The sprouting phase of cassava is critical for the establishment of the plant, with this phase being dependent on soil moisture. As such, this study evaluated the effect of different irrigation levels on the initial growth of cassava cv. Mossoró in semi-arid conditions. The experiment was conducted under completely randomized design conditions with 5 replications. The treatments in pots containing one plant per experimental unit consisted of 5 irrigation levels, 0, 25, 50, 75 and 100% of the reference evapotranspiration (ET_o, mm day⁻¹), which corresponded to totals for the experimental period of 11.20; 42.15; 73.09; 104.03 and 134.97 mm, respectively. At 30 days after planting, the number of leaves and stems, as well as the dry mass of the shoot and the root had increased sharply for irrigation levels up to 73.09 mm. For higher irrigation levels there was a tendency for plant growth stabilization; however, above 104.03 mm there was a decrease. Shoot and root dry mass ratio showed severe water stress at the 11.20 mm level, being more damaging to root growth. Plant height showed a positive linear trend as the level of irrigation was increased, as opposed to water use efficiency. Therefore, irrigation with 50% replacement of ET_o (73.09 mm) provided the best conditions for early growth of cassava.

Key words: Biomass accumulation. Drought tolerance. Water deficit. *Manihot esculenta* Crantz. Irrigation management.

Resumo: A fase de brotação da mandioca é crítica para o estabelecimento da cultura, sendo esta fase dependente da umidade do solo. Assim, esse estudo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes lâminas de irrigação no crescimento inicial de mandioca cv. Mossoró em condições de semiárido. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com 5 repetições. Os tratamentos consistiram de 5 lâminas de irrigação, sendo 0, 25, 50, 75 e 100% da evapotranspiração de referência (ET_o, mm dia⁻¹), que corresponderam a um total de 11,20; 42,15; 73,09; 104,03 e 134,97 mm durante o período experimental, em vasos contendo uma planta por unidade experimental. Aos 30 dias após o plantio, verificou-se que o número de folhas e de hastes, assim como a massa seca da parte aérea e da raiz, aumentaram acentuadamente até a lâmina de 73,09 mm, com tendência a estabilização a partir desse ponto, e posterior queda a partir de 104,03 mm. A relação entre a massa seca da parte aérea e a massa seca da raiz demonstrou estresse hídrico severo na lâmina de 11,20 mm, sendo mais danoso ao crescimento das raízes. A altura das plantas apresentou comportamento linear positivo à medida que se aumentou a lâmina, ao contrário da eficiência do uso da água. Portanto, a lâmina com reposição de 50% da ET_o, (73,09 mm), proporciona um crescimento inicial adequado para mandioca.

Palavras-chave: Acúmulo de biomassa. Déficit hídrico. *Manihot esculenta* Crantz. Manejo de irrigação. Tolerância a seca.

*Corresponding author

Submitted for publication on 20/08/2018 and approved 30/09/2018

¹Search Project Results

²Student of doctorate degree in agronomy (plant science) at the Federal University of Ceará, DF/CCA/UFC, Fortaleza-CE, Brazil. E-mail – domingosneto@alu.ufc.br

³Student of doctorate degree in agricultural sciences (plant physiology) at the Federal University of Viçosa, DBV/CCBS/UFV, Viçosa-MG, Brazil. E-mail – danielcoelho_ea@gmail.com

⁴Student of doctorate degree in agricultural sciences (plant physiology) at the Federal University of Viçosa, DBV/CCBS/UFV, Viçosa-MG, Brazil. E-mail – moab.agro@gmail.com

⁵Master in plant production at the Federal University of Vale do São Francisco, Petrolina-PE, Brazil. E-mail – jandelson13@gmail.com

INTRODUCTION

Cassava is one of the world's major sources of food, especially in developing countries where it is grown using low technology in smallholdings. In addition, as an amylaceous crop cassava has been shown to have potential for ethanol production, as an alternative fuel source (SALLA *et al.*, 2010). It is a tropical crop with low susceptibility to disease, being moderately tolerant to environmental stresses such as drought (FAO, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2015).

For agricultural crops, water stress is one of the main limiting factors for productivity (SHANKER *et al.*, 2014). Cassava in low soil moisture conditions partially or totally closes its stomata by the accumulation of abscisic acid (ABA). This gradually reduces transpiration, in addition to more efficiently using metabolites produced by photosynthesis (DUQUE; SETTER, 2013; TURYAGYENDA *et al.*, 2013). These characteristics give cassava greater resistance to water stress compared to other crops; however, with tolerance mechanisms aimed at plant survival, growth, and especially, productivity can be substantially reduced (ZHAO *et al.*, 2015; CARVALHO *et al.*, 2016).

Although it is considered moderately tolerant to water stress, low water availability in the soil compromises crop productivity (SOUZA *et al.*, 2010). Lago *et al.* (2011) showed that irrigated cassava resulted in higher productivity and percentage dry mass in comparison to non-irrigated plants. On the other hand, excess water promotes conditions of low oxygen concentration in the soil, which negatively affects the development of the plant (ANTWI *et al.*, 2017). Therefore, studies are needed to determine the appropriate levels of irrigation for cassava, especially in the initial phase of growth, when seedling establishment depends on the level of soil moisture to promote shoot budding. In semi-arid conditions, where water is one of the main limiting resources for production, this becomes even more relevant.

One of the tools used in irrigation management is a calculation of crop water demand, by using reference evapotranspiration (ET_o) for a hypothetical grass cultivated under conditions of good water availability, together with the coefficient of the crop (K_c), are reliable parameters for quantifying the slide to be applied in a culture (KUMAR *et al.*, 2008). Appropriate irrigation combined with adequate management can promote good initial development of the crop, generating vigorous plants less susceptible to environment adversities. Thus, the objective of this study was to evaluate the influence of different soil water regimes on the initial growth of cassava cv. Mossoró in semi-arid conditions.

INTRODUÇÃO

A mandioca é considerada uma das principais fontes de alimento energético do mundo, especialmente nos países em desenvolvimento, onde é cultivada em pequenas áreas e com baixo nível tecnológico. Além disso, a mandioca tem mostrado ser uma das culturas amiláceas com potencial para a produção de etanol e, portanto, uma alternativa energética (SALLA *et al.*, 2010). É uma cultura tropical e rústica, com pouca suscetibilidade a doenças, sendo moderadamente tolerante a estresses ambientais como a seca (FAO, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2015).

Nas culturas agrícolas em geral, o estresse hídrico é um dos principais fatores limitantes à produtividade (SHANKER *et al.*, 2014). A mandioca, em condições de baixa umidade no solo, fecha parcialmente ou totalmente os estômatos pelo acúmulo de ácido abscísico (ABA), o que reduz gradualmente a transpiração, além de utilizar mais eficientemente os metabólitos produzidos no processo fotossintético (DUQUE; SETTER, 2013; TURYAGYENDA *et al.*, 2013). Essas características conferem a mandioca maior resistência ao estresse hídrico, quando comparada com outras culturas, entretanto, o crescimento e, principalmente, a produtividade podem reduzir substancialmente, tendo em vista que os mecanismos de tolerância buscam a sobrevivência da planta (ZHAO *et al.*, 2015; CARVALHO *et al.*, 2016).

Apesar de ser considerada moderadamente tolerante ao estresse hídrico, a baixa disponibilidade de água no solo compromete a produtividade da cultura (SOUZA *et al.*, 2010). Lago *et al.* (2011) verificaram que mandioca irrigada apresenta maior produtividade e porcentagem de massa seca em relação a de sequeiro. Por outro lado, o excesso de água promove condições de baixa concentração de oxigênio no solo, o que afeta negativamente o desenvolvimento da planta (ANTWI *et al.*, 2017). Dessa forma, são necessários estudos para indicar os níveis adequados de irrigação para a cultura da mandioca, especialmente na fase inicial, quando o estabelecimento das plântulas depende do nível de umidade no solo para promover a brotação das gemas. Em condições de semiárido, isso se torna ainda mais relevante, posto que a água é um dos principais recursos limitantes para a produção.

Uma das ferramentas utilizadas no manejo da irrigação é o cálculo da demanda hídrica da cultura, que utiliza a evapotranspiração de referência (ET_o), considerada como a de uma superfície cultivada com uma grama hipotética, sob condições específicas com boa disponibilidade de água, conjuntamente com o coeficiente da cultura (K_c), são parâmetros confiáveis para quantificar a lâmina a ser aplicada em uma cultura (KUMAR *et al.*, 2008). A irrigação aliada a um manejo adequado pode possibilitar bom desenvolvimento inicial da cultura, conferindo maior vigor às plantas, para superar as adversidades do ambiente, e menor impacto na produção de biomassa da mandioca. Assim, objetivou-se com o presente estudo avaliar a influência de diferentes regimes de água no solo no crescimento inicial de mandioca cv. Mossoró em condições de semiárido.

MATERIALS AND METHODS

The study was carried out in the experimental area of the Federal Rural University of Pernambuco, at the Academic Unit of Serra Talhada. Cultivation occurred in open fields exposed to the meteorological elements, from May 31 to July 3, 2014. The municipality of Serra Talhada was located at latitude 7° 59' 31" S, longitude 38° 17' 54" W and altitude of 429 m. The region had a Köppen climate classification of type BSW_h, with averages of temperature, relative humidity and rainfall of 25.2 °C, 61% and 632 mm, respectively (DCA-UFCG, 2014).

The plants were grown in plastic pots with a capacity of 4.8 L, containing Haplic Cambisol (795 g kg⁻¹ of sand, 126 g kg⁻¹ of silt and 79 g kg⁻¹ of clay; soil density of 1.34 g cm⁻³ and 50% of total porosity) and washed construction sand in a proportion of 1:1. Crushed stone were placed at the bottom of the pots to avoid loss of substrate. Stem cuttings were taken every 10 cm from cassava cv. Mossoró 8 months after planting, and these were planted at a depth of 10 cm.

The experimental design was completely randomized, with 5 replicates. The treatments consisted of 5 irrigation levels, at 0, 25, 50, 75 and 100% of the ETo, which corresponded to totals during the experimental period of 11.20; 42.15; 73.09; 104.03 and 134.97 mm, respectively. The experimental plot comprised the pot with a plant.

All pots were saturated with water and allowed to drain for 24 h until they reach the field capacity. The reference evapotranspiration (ETo) for each day during the experiment was calculated by the Penman-Monteith (FAO-56) method (ALLEN *et al.*, 1998; Equation 1), using mean daily values of relative air humidity, air temperature, radiation balance, atmospheric pressure and wind speed obtained from the local meteorological station (INMET, 2014). The daily value of ETo (mm day⁻¹) was adjusted to mL per pot, and in the following days manual replenishment was performed using a graduated test tube.

Equação 1

$$E_{T_o} = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

Where, ETo = reference evapotranspiration (mm day⁻¹), R_n = radiation balance (MJ m⁻² day⁻¹), G = soil heat flux (MJ m⁻² day⁻¹), γ = psychrometric constant (kPa °C⁻¹), T = average air temperature (°C), Δ = slope of the vapor pressure curve (kPa °C⁻¹), u₂ = wind speed at a height of 2 meters (m s⁻¹), e_s = saturation vapor pressure (kPa) and e_a = actual vapor pressure (kPa).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco na Unidade Acadêmica de Serra Talhada. O cultivo ocorreu em campo aberto, exposto às variáveis meteorológicas, no período de 31 de maio a 3 de julho de 2014. O município de Serra Talhada está localizado entre as coordenadas de latitude 7° 59' 31" S, de longitude 38° 17' 54" O e altitude de 429 metros. O clima da região é do tipo BSW_h, com médias de temperatura, umidade relativa e precipitação pluviométrica de 25,2 °C, 61% e 632 mm, respectivamente (DCA-UFCG, 2014).

As plantas foram cultivadas em vasos plásticos com capacidade de 4,8 L, contendo substrato composto da mistura solo (Cambissolo háplico: 795 g kg⁻¹ de areia, 126 g kg⁻¹ de silte e 79 g kg⁻¹ de argila; densidade do solo de 1,34 g cm⁻³ e 50% de porosidade total) e areia lavada de construção, na proporção de 1:1. Foi utilizado brita no fundo do vaso para evitar perda de substrato. As manivas-semente de mandioca cv. Mossoró, provenientes de plantas colhidas aos 8 meses após o plantio, foram cortadas uniformemente a cada 10 cm e plantadas numa profundidade de 10 cm.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com 5 repetições. Os tratamentos consistiram de 5 lâminas de irrigação, sendo 0, 25, 50, 75 e 100% da ETo, que corresponderam a um total de 11,20; 42,15; 73,09; 104,03 e 134,97 mm durante o período experimental. A parcela experimental compreendeu o vaso com uma planta.

Todos os vasos foram saturados com água e deixados drenar por 24 h, até atingirem a capacidade de campo. A evapotranspiração de referência (ETo) para cada dia durante o experimento foi calculada pelo método de Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN *et al.*, 1998) (Equação 1), sendo os valores médios diários de umidade relativa do ar, temperatura do ar, saldo de radiação, pressão atmosférica e velocidade do vento obtidos diariamente da estação meteorológica local (INMET, 2014). O valor da ETo (mm dia⁻¹) diária foi ajustado para mL por vaso, e as reposições, feitas no dia seguinte, realizadas manualmente utilizando proveta graduada.

Em que: ETo = evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹), R_n = saldo de radiação (MJ m⁻² dia⁻¹), G = fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹), γ = constante psicrométrica (kPa °C⁻¹), T = temperatura média do ar (°C), Δ = declividade da curva de pressão de vapor (kPa °C⁻¹), u₂ = velocidade do vento a 2 metros (m s⁻¹), e_s = pressão de saturação do vapor média (kPa) e e_a = pressão atual do vapor (kPa).

At 30 days after planting, cassava plants were submitted to the following evaluations: height (cm), number of stems, number of leaves, and dry mass of shoot and root (g). In addition, the ratio of the dry masses of shoot and root (MSPA/ MSR) and water use efficiency (WUE; kg m^{-3}) were determined. The height of the plant was obtained with a ruler, measuring from the base of the stem to the highest leaf. For number of leaves, only those that were fully expanded were considered, while for the counting of stems, each bud was considered. The dry masses of shoots and roots were obtained after heating in an oven at 65 °C until the tissue reached a constant weight. WUE was determined by the relationship between fresh mass production and the total of water received by the plants, which was the sum of water replenished for each irrigation levels and the volume of rainfall during the experiment (BARKER *et al.*, 1989).

The data were submitted to normality and homoscedasticity tests, analysis of variance and regression analysis with the aid of the software Sisvar (FERREIRA, 2011), observing the significance of the polynomial models.

RESULTS AND DISCUSSION

The different water regimes imposed on the plants influenced the accumulation of biomass and the biometric characteristics. The variables, number of leaves, number of stems, root dry mass and shoot dry mass presented similar quadratic behaviors (Figures 1A, 1B, 1D and 1E).

The number of leaves and stems showed a significant increase for all irrigation volumes compared to plants without irrigation (Figures 1A and 1B). The plants that received irrigation levels of 73.09 mm had about two times more leaves than plants that received only 42.15 mm. Pinheiro *et al.* (2014) found that total leaf area was lower in plants with water deficiency mainly due to a reduction in development of new leaves and an increase in senescence. Above the irrigation level of 73.09 mm there was no significant increase in the number of leaves, and above 104.3 mm a tendency towards reduction was observed. Height of the plants was positively correlated with irrigation level for the full range of water volumes used in this study (Figure 1C).

The values of irrigation that resulted in maximum dry mass accumulation of shoots and roots were 109.01 and 114.58 mm, respectively, according to the adjusted polynomial model (Figures 1D and 1E). However, the absolute values found with the application of the 104.03 mm irrigation level were approximately 5% higher than those for 73.09 mm, indicating that the increase in biomass was not proportional to the irrigation level (Figures 1D and 1E).

Aos 30 dias após o plantio, as plantas de mandioca foram submetidas às avaliações de: altura (cm), número de hastes, número de folhas, massa seca da parte aérea e raiz (g) e posterior determinação da relação massa seca da parte aérea e raiz (MSPA/ MSR) e eficiência do uso da água (EUA; kg m^{-3}). A altura de planta foi obtida com auxílio de régua, efetuando as leituras da base do caule até a folha mais alta. As folhas completamente expandidas foram consideradas para a contagem do número de folhas e, para a contagem das hastes, foi considerada cada brotação. A massa seca da parte aérea e da raiz foram obtidas em estufa a 65 °C até atingir peso constante, e a EUA foi definida pelo cálculo da relação entre a produção de massa fresca e o total de água repostos por cada lâmina de irrigação, acrescido do volume referente à precipitação pluviométrica no decorrer do experimento (BARKER *et al.*, 1989).

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade e homoscedasticidade, análise de variância e análises de regressão com auxílio do software Sisvar (FERREIRA, 2011), observando-se as significâncias dos modelos polinomiais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os diferentes regimes hídricos impostos à cultura influenciaram no acúmulo de biomassa e nas características biométricas. As variáveis número de folhas, número de hastes, massa seca da raiz e massa seca da parte aérea apresentaram comportamento semelhante, descrito por modelo quadrático (Figuras 1A, 1B, 1D e 1E).

As características número de folhas e de hastes apresentaram incremento significativo para todas as lâminas em relação às plantas sem irrigação (Figuras 1A e 1B). As plantas que receberam 73,09 mm emitiram cerca de duas vezes mais folhas do que as plantas que receberam 42,15 mm. Em trabalho desenvolvido por Pinheiro *et al.* (2014), a área foliar total foi inferior nas plantas com deficiência hídrica devido principalmente à redução da emissão de novas folhas e ao aumento da senescência. Acima da lâmina de 73,09 mm não houve incremento significativo, além disso, a partir da lâmina de 104,3 mm, observou-se uma tendência de redução. A altura das plantas aumentou de acordo com o aumento da lâmina de irrigação, não sendo observado um ponto de máximo ou tendência à estabilização da curva (Figura 1C).

Os valores de lâmina de irrigação que resultaram em máximo acúmulo de massa seca da parte aérea e da raiz foram 109,01 e 114,58 mm, respectivamente, de acordo com o modelo polinomial ajustado (Figuras 1D e 1E). No entanto, ressalta-se que os valores absolutos encontrados com a aplicação da lâmina de 104,03 mm foram aproximadamente 5% maiores que a de 73,09 mm, indicando que o aumento da lâmina não resultou no incremento proporcional de biomassa (Figuras 1D e 1E).

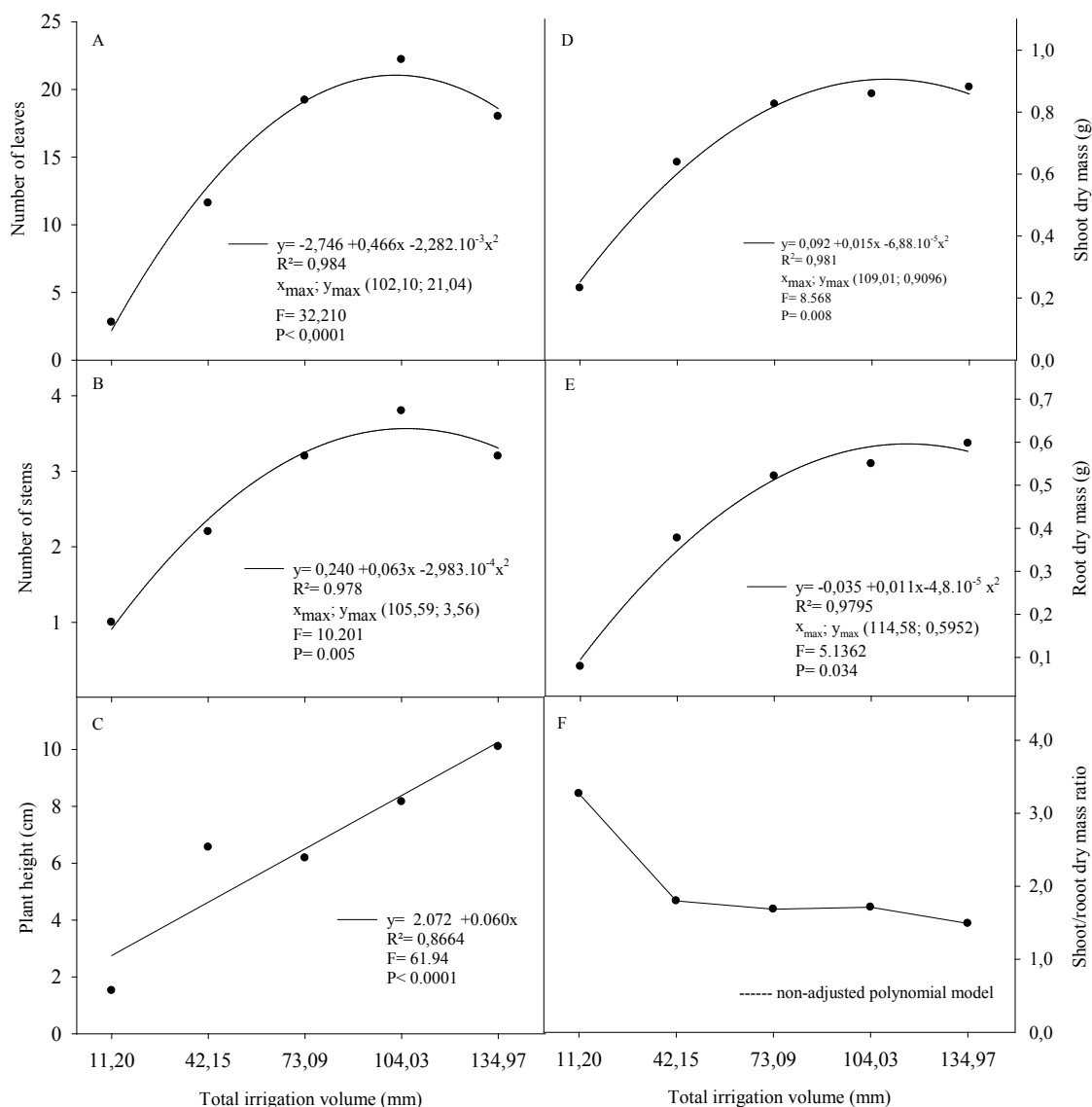


Figure 1 - Number of leaves (A), number of stems (B), plant height (C), shoot dry mass (D), root dry mass (E) and shoot and root dry mass ratio (F) in cassava cv. Mossoró in function of irrigation levels based on the replacement of 0 (11.2 mm); 25 (42.15 mm); 50 (73.09mm); 75 (104.3 mm) and 100% (134.97 mm) of reference evapotranspiration (ET₀).

Figura 1 - Número de folhas (A), número de hastes (B), altura de planta (C), massa seca da parte aérea (D), massa seca da raiz (E) e relação massa seca da parte aérea/massa seca da raiz (F) em mandioca cv. Mossoró em função de lâminas de irrigação com base na reposição de 0 (11,2 mm); 25 (42,15 mm); 50 (73,09mm); 75 (104,3 mm) e 100% (134,97 mm) da evapotranspiração de referência (ET₀).

Compared to plants exposed to the irrigation level of 11.20 mm, those that received an irrigation level of 42.15 mm had shoot and root dry masses of 64 and 79% higher, respectively, while plants at irrigation levels of 73.09 mm showed values 72 and 85% higher, respectively (Figures 1D and 1E). Souza *et al.* (2010) also found dry mass reduction in cassava grown in dry land when compared to the plants under irrigation. On the other hand, for the ratio of shoot to root dry mass (MSPA / MSR), it was not possible to fit any polynomial model; however, it became clear that severe water deficit was more detrimental to root development (Figure 1F). Plants supplied with 42.15 mm of water had 3.43 times the shoot dry mass of those that received only 11.2 mm; whereas, an increase of 5.9 times in root dry mass was observed for the same comparison.

These results suggested that severe water stress substantially impaired the initial growth of cassava. This was probably due to cavitation of the vascular bundles, which would compromise the transportation of water and nutrients to the shoot, and the reduction of the photosynthetic rate, which would reduce the availability of photoassimilates. As such, crop establishment and root productivity would be compromised for plants exposed to prolonged stress (DUQUE; SETTER, 2013). In contrast, intermediate levels of irrigation provide satisfactory responses due to the high sensitivity of stomatal opening control in cassava, as compared to other crops (OKOGBENIN *et al.*, 2013).

Water use efficiency (WUE) varied between 2.68 and 5.70 kg m⁻³ for plants under the highest applied irrigation level and those without irrigation, respectively. A negative linear model was observed, where water efficiency decreased as its availability increased, a reverse correlation compared to other characteristics (Figure 2).

Plants subjected to prolonged water stress show reduced stomatal conductance, an important adaptive mechanism of drought tolerance for reducing water loss from transpiration. This mechanism allows for an increase in WUE, helping to maintain metabolic activity and biomass production (SILVA *et al.*, 2013). In addition, cassava seedlings rely on the intrinsic water contained together with metabolic reserves in the stem cuttings, which can be used with high efficiency at times of water scarcity. These processes are consistent with high WUE results at the lowest irrigation levels (Figure 2). However, it was also observed that the accumulation of the biomass in such plants was severely compromised (Figures 1D and 1E).

Em relação às plantas submetidas à lâmina de 11,20 mm, aquelas que receberam a lâmina de 42,15 mm apresentaram massa seca da parte aérea e raiz 64 e 79% maior, respectivamente, e, quando comparadas às plantas submetidas à lâmina de 73,09 mm, os valores foram 72 e 85% maior, respectivamente (Figuras 1D e 1E). Souza *et al.* (2010) também verificaram redução da matéria seca em plantas de mandioca cultivadas em sequeiro quando comparadas às plantas sob irrigação. Já para a relação massa seca da parte aérea/massa seca da raiz (MSPA/MSR), não foi possível ajustar nenhum modelo polinomial, no entanto, ficou claro que a deficiência hídrica severa é mais prejudicial ao desenvolvimento das raízes (Figura 1F). As plantas supridas com 42,15 mm de água apresentaram aumento de 3,43 vezes na massa seca da parte aérea, quando comparadas àquelas que receberam apenas 11,2 mm, enquanto que esse aumento foi de 5,9 vezes na matéria seca da raiz para essa mesma comparação.

Esses resultados inferem que o estresse hídrico severo prejudica substancialmente o crescimento inicial da mandioca, provavelmente em decorrência da cavitação dos feixes vasculares, que compromete o transporte de água e nutrientes para a parte aérea, e da redução da taxa fotossintética, que reduz o aporte de fotoassimilados e pode comprometer o estabelecimento da cultura e a produtividade de raízes, quando exposta a estresse prolongado (DUQUE; SETTER, 2013). Em contrapartida, níveis intermediários de irrigação proporcionam respostas satisfatórias em decorrência da alta sensibilidade do controle da abertura estomática, quando a mandioca é comparada a outras culturas (OKOGBENIN *et al.*, 2013).

A eficiência do uso da água (EUA) variou entre 2,68 a 5,70 kg m⁻³ para as plantas sob a maior lâmina aplicada e sem irrigação, respectivamente, adequando-se a um modelo linear negativo, ou seja, reduzindo à medida que se aumentou a disponibilidade de água, comportamento inverso comparado às demais características (Figura 2).

Plantas submetidas a estresse hídrico prolongado reduzem a condutância estomática, mecanismo adaptativo de tolerância a seca importante na redução da perda de água por transpiração. Esse mecanismo permite o aumento da EUA, mantendo, mesmo com limitações, a atividade metabólica e a produção de biomassa (SILVA *et al.*, 2013). Além disso, as plântulas de mandioca contam com a água intrínseca contida juntamente com as reservas metabólicas presente na maniva-semente, que pode ser utilizada com elevada eficiência em condições ambientais de escassez hídrica. Em conjunto, esses argumentos sustentam os elevados resultados para EUA das lâminas com menor quantidade de água aplicada (Figura 3). No entanto, evidenciou-se que o acúmulo da biomassa dessas plantas foi severamente comprometido (Figuras 1D e 1E).

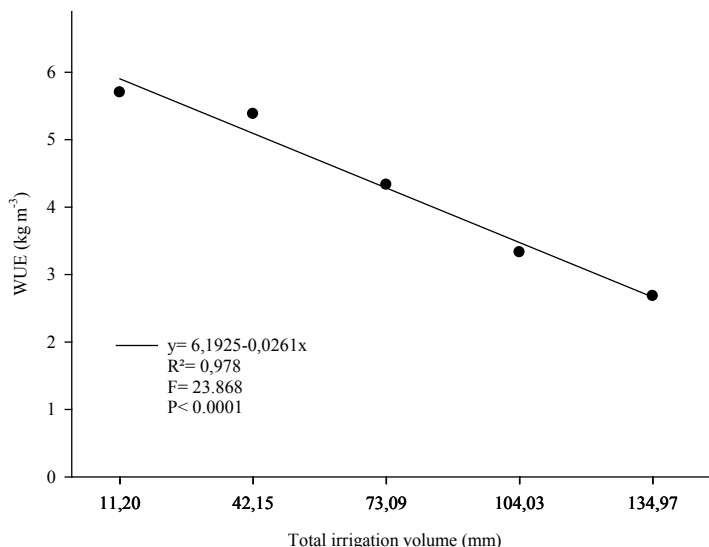


Figure 2 – Water-use efficiency (kg m^{-3}) in cassava cv. Mossoró in function of irrigation levels based on the replacement of 0 (11.2 mm); 25 (42.15 mm); 50 (73.09mm); 75 (104.3 mm) and 100% (134.97 mm) of reference evapotranspiration (ET_o).

Figura 2 – Eficiência do uso da água (kg m^{-3}) em mandioca cv. Mossoró em função de lâminas de irrigação com base na reposição de 0 (11,2 mm); 25 (42,15 mm); 50 (73,09mm); 75 (104,3 mm) e 100% (134,97 mm) da evapotranspiração de referência (ET_o).

This study demonstrated that biometric variables and dry mass production showed a positive correlation with irrigation levels, but a negative correlation with WUE. This indicates the need for irrigation management that allows for adequate development of the crop but avoids wasting what is an increasingly limited resource in semi-arid regions.

Este estudo demonstrou que as variáveis biométricas e a produção de massa seca apresentam uma correlação positiva com os níveis de irrigação, mas uma correlação negativa com a EUA. Isso indica a necessidade de um manejo de irrigação que permita o desenvolvimento adequado da cultura mas que evite o desperdício do que é um recurso cada vez mais limitado nas regiões semi-áridas.

CONCLUSIONS

Drought is detrimental to the initial development of cassava, resulting in drastically reduced growth and biomass accumulation.

The replacement of the total evapotranspiration reference did not result in an increase in growth.

Irrigation levels with replacement around 73.09 mm, when applied to cassava in the first 30 days of cultivation ($\sim 2.43 \text{ mm day}^{-1}$) provided for adequate initial growth.

CONCLUSÕES

A condição de seca é prejudicial à fase inicial de desenvolvimento da mandioca, pois reduz drasticamente o crescimento e o acúmulo de biomassa;

A reposição do total da evapotranspiração de referência, não resulta em incremento no crescimento;

A lâmina com reposição em torno de 73,09 mm, aplicada em mandioca nos primeiros 30 dias de cultivo ($\sim 2,43 \text{ mm dia}^{-1}$), proporciona um crescimento inicial adequado.

ACKNOWLEDGEMENTS

To the Post-Graduation Program in Plant Production of the Federal Rural University of Pernambuco, Academic Unit of Serra Talhada, for the provision of stem cuttings and equipment.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, pela disponibilização das manivas-semente e equipamentos.

CITED SCIENTIFIC LITERATURE

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 297p. FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56, 1998.
- ANTWI, B. O.; ASANTE, S. K.; YEBOAH, J. Drought assessment for reduced climate impact on cassava production. **Journal of Applied Sciences**, v. 17, n. 1, p. 12-21, 2017.
- BARKER, R. E.; FRANK, A. B.; BERDAHL, J. D. Cultivar and clonal differences for water use efficiency and yield in four forage grasses. **Crop Science**, v. 29, p. 58-61, 1989.
- 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.
- DUQUE, L. O.; SETTER, T. L. Cassava response to water deficit in deep pots: root and shoot growth, ABA, and carbohydrate reserves in stems, leaves and storage roots. **Tropical plant biology**, v. 6, n. 4, p. 199-209, 2013.
- DCA-UFCG. Departamento de Ciências Atmosféricas – Universidade Federal de Campina Grande. Dados climatológicos do Estado de Pernambuco. Disponível em: <<http://www.dca.ufcg.edu.br/clima/dadospe.htm>>, 2014. Acesso em 26/08/2014.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Plant production and protection. Disponível em: <<http://www.fao.org/WAIRdocs/x5425e/x5425e05.htm>>, 2005. Acesso em 26/08/2014.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Dados de estações automáticas. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo.php?QTM1MA>. Acesso em 30/06/2014.
- KUMAR, M.; BANDYOPADHYAY, A.; RAGHUWANSHI, N. S. Comparative study of conventional and artificial neural network-based ETo estimation models. **Irrigation Science**, v. 26, n. 1, p. 531-545, 2008.
- LAGO, I. STRECK, N. A.; BISOGNIN, D. A.; SOUZA, A. T. de; SILVA, M. R. da. Transpiração e crescimento foliar de plantas de mandioca em resposta ao déficit hídrico no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 11, p. 1415-1423, 2011.
- OKOGBENIN, E.; SETTER, T. L.; FERGUSON, M.; MUTEGLI, R.; CEBALLOS, H.; OLASANMI, B.; FREGENE, M. Phenotypic approaches to drought in cassava: review. **Frontiers in Physiology**, v. 4, n. 1, p. 1-15, 2013.
- OLIVEIRA, E.; 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, n. 3, p. 233-241, 2015.
- PINHEIRO, D. G.; STRECK, N. A.; RICHTER, G. L.; LANGNER, J. A.; WINCK, J. E. M.; UHLMANN, L. O.; ZANON, A. J. Limite crítico de água no solo para transpiração e crescimento foliar em mandioca em dois períodos com deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, 2014.
- SALLA, D. A.; FURLANETO, F. P. B.; CABELLO, C.; KANTHACK, R. A. D. Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, 2010.
- SHANKER, A. K.; MAHESWARI, M.; YADAV, S. K.; DESAI, S.; BHANU, D.; ATTAL, N. B.; VENKATESWARLU, B. Drought stress responses in crops. **Functional & Integrative Genomics**, v. 14, n. 1, p. 11-22, 2014.
- SILVA, M. A.; JIFON, J. L.; SANTOS, M. C.; JADOSKI, C. J.; SILVA, J. A. G. Photosynthetic capacity and water use efficiency in sugarcane genotypes subject to water deficit during early growth phase. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 56, n. 5, p. 735-748, 2013.
- SOUZA, M. J. L.; VIANA, A. E. S.; MATSUMOTO, S. N.; VASCONCELOS, R. C.; SEDIYAMA, T.; MORAIS, O. M. Características agrônômicas da mandioca relacionadas à interação entre irrigação, épocas de colheita e cloreto de mepiquat. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 45-53, 2010.

TURYAGYENDA, L. F.; KIZITO, E. B.; FERGUSON, M.; BAGUMA, Y.; AGABA, M.; HARVEY, J. J. W.; OSIRU, D. S. O. Physiological and molecular characterization of drought responses and identification of candidate tolerance genes in cassava. **AoB Plants**, v. 5, n. 1, p. 1-17, 2013.

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. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 5, p 1477-1488, 2015.