

PIGMENTOS E EFICIÊNCIA FOTOSSÍNTÉTICA DE QUATRO VARIEDADES DE MANDIOCA

Pigments and photosynthetic efficiency of four varieties of cassava

Valtair VERISSIMO¹
Sihélio Julio Silva CRUZ²
Laís Fernanda Melo PEREIRA¹
Pedro Bento da SILVA¹
Jonhclecio Duarte TEIXEIRA¹
Vilma Marques FERREIRA¹
Lauricio ENDRES¹

RESUMO

O estudo foi conduzido em casa de vegetação, no centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Alagoas. Com o objetivo de conhecer as diferenças fisiológicas de diferentes variedades de mandioca através da avaliação dos pigmentos e da eficiência fotossintética, em plantas cultivadas em ambiente controlado, em condição ideal de disponibilidade de água no solo. As variedades de mandioca estudadas foram: Campinas e Cariri (indústria) e Dona Diva e Rosinha (mesa). Durante o período de crescimento, as plantas foram mantidas com irrigação em condição de campo (100% CC). Após 56 dias do plantio foram realizadas as avaliações do nível de clorofila através do aparelho SPAD-502, sendo que o valor de cada planta foi a média de cinco leituras no terço médio e superior das plantas. Os teores dos pigmentos foram quantificados com espectrofotômetro. Outras avaliações foram da fluorescência da clorofila, quantificado através do equipamento Fluorômetro. Sob condições ótimas de disponibilidade de água, as variedades Campinas e Rosinha possuem maior capacidade de fotossíntese devido à maior concentração de pigmentos fotossinteticamente ativos por unidade de peso de matéria fresca, bem como de maior capacidade de fotoproteção pela maior concentração de carotenóides. Todas as variedades apresentam fotoinibição dinâmica quando cultivada em condições satisfatórias de umidade do solo, sendo a variedade Dona Diva a mais eficiente no transporte de elétrons e as variedades Campinas e Cariri as menos afetadas pela fotoinibição.¹

Palavras-chave: *Manihot esculenta*, macaxeira, fluorômetro, fluorescência, clorofila, carotenóides

SUMMARY

The study was conducted in a greenhouse at the Center of Agrarian Sciences, Federal University of Alagoas. With the objective of understand the physiological differences of different varieties of cassava through the evaluation of pigments and photosynthetic

efficiency in plants grown in controlled environment in ideal condition of water availability in the soil. The cassava varieties studied were: Campinas and Cariri (industry) and Dona Diva and Rosinha (table). During the growth period, plants were maintained with irrigation under field conditions (100% CC). After 56 days of planting were conducted assessments of the level of chlorophyll through the SPAD-502 device, and the value of each plant was the average of five readings in the middle third and higher plants. The pigment amounts were quantified with a spectrophotometer. Other assessments were the chlorophyll fluorescence, measured by fluorometer equipment. Under optimum conditions of water availability, varieties Campinas and Rosinha have a greater capacity for photosynthesis due to higher concentration of active photosynthetic pigments per unit of fresh weight as well as greater capacity for photoprotection by the higher concentration of carotenoids. All varieties exhibit dynamic photoinhibition when grown under satisfactory conditions of soil moisture and the variety Dona Diva have the most efficient electron transport. The Cariri and Campinas varieties were less affected by photoinhibition.

Keywords: *Manihot esculenta*, macaxeira, fluorometer, fluorescence, chlorophyll, carotenoids.

INTRODUÇÃO

Reconhecidamente rústica, a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) adapta-se as mais diferentes condições edafoclimáticas, sendo muitas vezes, cultivadas em áreas consideradas marginais para a maioria das outras culturas. Entretanto, esta espécie exige luz em abundância para realizar eficientemente a fotossíntese.

Alguns estudos têm sido conduzidos com o objetivo de descobrir quais as bases fisiológicas que explicariam as diferenças de rendimento fotossintético entre variedades. De acordo com Araus et al. (1998), a medição da fluorescência da clorofila *a* é uma técnica rápida, precisa e não-destrutiva para detectar desequilíbrios energéticos e metabólicos da fotossíntese.

A fluorescência da clorofila *a* é emitida pelo fotossistema II (PSII) e pelo Sistema Coletor de Luz do PSII (LHCII). Sendo a relação F_v/F_m altamente correlacionada com o rendimento quântico do processo fotossintético. Nesse sentido, a diminuição dessa relação é um bom indicador de efeito fotoinibitório (Araus e Hogan, 1994; Angelopoulos et al., 1996; Faria et al., 1998). Assim, alterações na fluorescência pode mostrar a ausência ou presença de danos no processo fotossintético (Strasser et al., 2000).

Ainda dentro dos fatores ligados à eficiência fotossintética das plantas, a concentração de pigmentos fotossintéticos é de suma importância, especialmente a clorofila *a* e clorofila *b*, pois estes são responsáveis pela captura da energia

luminosa para a conversão em energia química. Já os carotenóides, constituem um grupo de pigmentos acessórios que desempenham um papel essencial na fotoproteção, constituindo integralmente as membranas dos tilacóides dos cloroplastos. Além da concentração total desses pigmentos, a proporção entre eles e entre as clorofilas *a* e *b* muda em função da intensidade luminosa.

O objetivo do trabalho foi conhecer as diferenças fisiológicas de diferentes variedades de mandioca através da avaliação dos pigmentos e da eficiência fotossintética, em plantas cultivadas em ambiente controlado, em condição ideal de disponibilidade de água no solo ($\approx 100\%$ da capacidade de campo).

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em casa de vegetação, no centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Alagoas. As variedades de mandioca estudadas foram: Campinas e Cariri (indústria) e Dona Diva e Rosinha (mesa). As manivas foram desinfetadas com solução fungicida e inseticida e plantadas em vasos de 20 litros. Em 10 de dezembro 2009 plantou-se uma

maniva de 15 cm por vaso. Durante o período de crescimento, as plantas foram mantidas com irrigação em condição de campo ($\approx 100\%$ CC). A cada dois dias os vasos foram pesados e ajustados o conteúdo de água.

Após 56 dias do plantio foram realizadas as avaliações do nível de clorofila através do aparelho SPAD-502 (Figura 3A), sendo que o valor de cada planta foi a média de 5 leituras no terço médio e superior das plantas.

Para quantificação de pigmentos fotossintéticos, aos 56 dias do plantio, coletou-se as amostras de folhas do terço médio e superior das plantas, que em seguida foram congeladas em nitrogênio líquido e, posteriormente, pesado cerca de 50 mg de cada amostra e colocadas para extração em tubos de ensaio com tampa rosqueável contendo 5 mL de acetona 80%, e mantidos no escuro por 72h com agitação diária dos tubos. Os teores dos pigmentos foram quantificados com espectrofotômetro através da obtenção das leituras nos seguintes comprimentos de onda: 480, 645, 663 e 710 (leitura de correção). Os resultados das concentrações foram obtidos através de aplicações das seguintes fórmulas, descritas por Arnon (1949):

$$\text{Clorofila } a = \frac{(12,7 \times A_{663} - 2,69 \times A_{645}) \times V}{MF} \quad (\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ MF})$$

$$\text{Clorofila } b = \frac{(22,9 \times A_{645} - 4,68 \times A_{663}) \times V}{MF} \quad (\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ MF})$$

$$\text{Clorofila total} = \frac{(8,02 \times A_{663} + 20,2 \times A_{645}) \times V}{MF} \quad (\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ MF})$$

$$\text{Carotenóides} = \frac{(A_{480} + 0,114 \times A_{663} - 0,638 \times A_{645}) \times V \times 10^3}{112,5 \times MF} \quad (\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{ MF})$$

onde:

A_{480} , A_{645} e A_{663} = representam as absorbâncias em 480, 645 e 663 nm;

V = volume de acetona a 80% usado na extração;

MF = peso da matéria fresca da qual foi extraída a clorofila.

Analisaram-se as seguintes variáveis: teores de clorofila a, b, total e carotenóides, bem como a relação clorofila a/b.

Outras avaliações foram da fluorescência da clorofila, quantificado através do equipamento Fluorômetro (Figura 3B). Nestas avaliações foram feitas três quantificações em horários diferentes. A primeira avaliação no dia da coleta foi realizada entre 3-4 h da manhã, quando ainda estava escuro, para quantificar enquanto o centro de reação do fotossistema II estava aberto, para obtenção principalmente da relação Fv/Fm (eficiência quântica potencial). Procedeu-se duas leituras por vaso, sendo as leituras nas folhas posicionadas no terço médio e superior das plantas. Outras duas avaliações foram feitas durante o dia, com presença de luz. A segunda foi feita próximo das 10h da manhã, para quantificar o Yield, para obtenção da eficiência quântica efetiva (ΦPSII). A terceira, e última avaliação, foram da fluorescência às 13h, para a obtenção da eficiência quântica potencial (Fv/Fm, quando o centro de reação do fotossistema II estava fechado). Nesta última leitura utilizaram-se

pequenas pinças, que foram colocadas nas folhas, para protegê-las da luz solar, aguardou-se cerca de 20 minutos para adaptação ao escuro e procederam-se as leituras.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco repetições por tratamento. Foi feita a análise de variância e a comparação de médias pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferenças altamente significativas ($P < 0,01$) entre as variedades para todos os pigmentos fotossintéticos analisados e para o índice SPAD (Figura 1). Em média, foram encontrados $2,91 \text{ mg g}^{-1} \text{ MF}$ de clorofila a e $1,25 \text{ mg g}^{-1} \text{ MF}$ de clorofila b, sendo que as maiores concentrações foram verificadas nas variedades Campinas e Rosinha, que não apresentaram diferenças estatísticas entre si (Figura 1A e 1B).

Pode-se observar também que, em média, os maiores valores de clorofila total foram expressos nas variedades Campinas, Rosinha e Cariri, com $4,47 \text{ mg g}^{-1} \text{ MF}$, $4,42$

mg g⁻¹ MF, 4,08 mg g⁻¹ MF, respectivamente (Figura 1C).

Quanto às concentrações de carotenóides, também houve destaque para as variedades Rosinha e Campinas, as quais apresentaram os maiores teores desses pigmentos (1,34 μmol g⁻¹ MF e 1,30 μmol g⁻¹ MF, respectivamente) [Figura 1E]. Os menores teores de carotenóides foram observados na variedade Cariri (1,11 μmol g⁻¹ MF). No entanto, esse melhor desempenho em termos de pigmentos, não faz das variedades Campinas e Rosinha necessariamente as mais produtivas quando em sistema de cultivo, pois há que considerar a área foliar que cada variedade

pode atingir, bem como outros fatores fisiológicos e nutricionais.

Já a cultivar Dona Diva apresentou os menores teores de clorofila *a* e *b*, sendo -12% e -30% em relação aos maiores teores obtidos, respectivamente. Por outro lado, esta variedade apresentou maior relação clorofila *a/b* (Figura 1D). Não houve diferenças significativas entre as demais cultivares neste parâmetro.

Quanto à quantificação de pigmentos através do aparelho SPAD-502, a variedade Dona Diva foi a que se destacou das demais, seguido pela variedade Campinas (Figura 1F). Este aparelho mede a clorofila total.

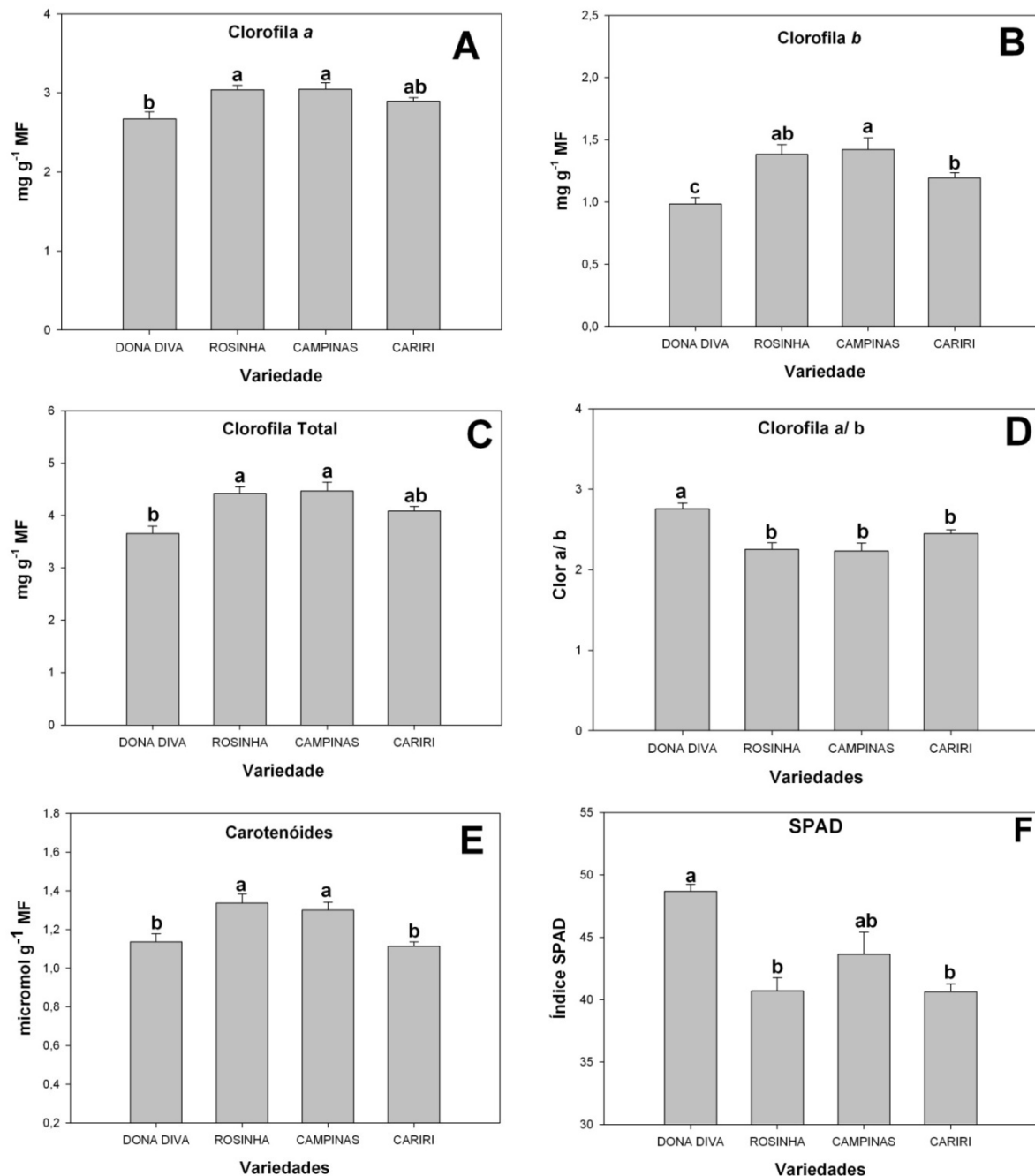


Figura 1. Teores de pigmentos fotossintéticos. **(A)** Clorofila a; **(B)** Clorofila b; **(C)** Clorofila Total; **(D)** Relação clorofila a/b; **(E)** Carotenos; e **(F)** Índice SPAD em plantas de mandioca, aos 56 dias após o plantio, em condições de $\approx 100\%$ da capacidade de campo.

A eficiência quântica é a medida da fração de fótons absorvidos que entram na fotoquímica (Taiz & Zieger, 2004). Verificou-se que houve diferenças altamente significativas ($P < 0,01$) entre as variedades para: Eficiência quântica potencial (F_v/F_m)

tanto na avaliação na ante-manhã (4h) quanto na avaliação de 13h e para Eficiência quântica efetiva (Φ_{PSII}), medido às 10h (Figura 2).

Para eficiência quântica potencial, medido na antemanhã, houve alta relação

Fv/Fm. Isso significa alta eficiência no uso da radiação para as reações de assimilação de carbono (SILVA et al., 2007). Neste

parâmetro houve diferença entre as variedades, com menor Fv/Fm para a variedade Rosinha (Figura 2A).

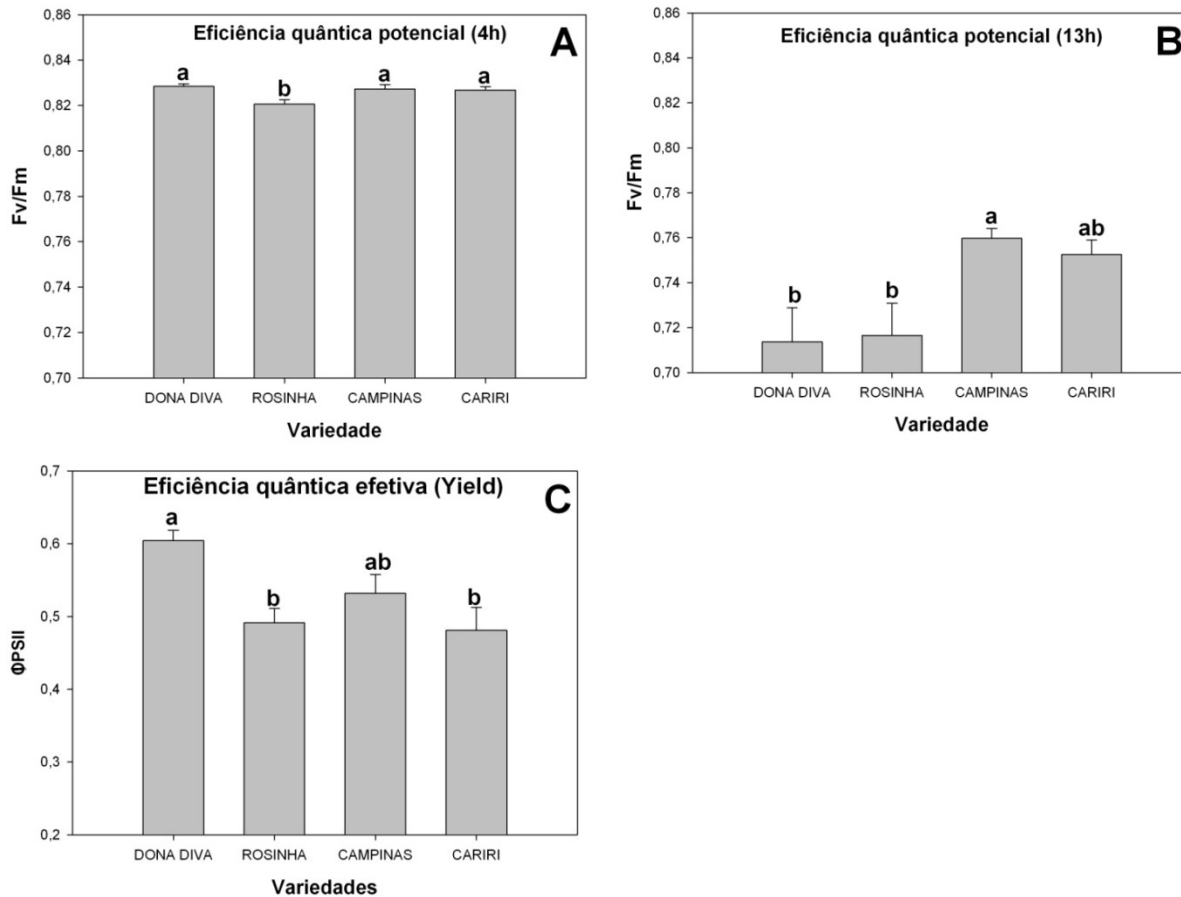


Figura 2. Fluorescência da clorofila. **(A)** Eficiência quântica potencial na antemanhã; **(B)** Eficiência quântica potencial à tarde (13h); **(C)** Eficiência quântica efetiva, na fase clara (Yield) medido às 10h, em plantas de mandioca, aos 56 dias após o plantio, em condição de ~100% da capacidade de campo.

As plantas de mandioca apresentaram fotoinibição dinâmica em todas as variedades, que pode ser visto pela redução de Fv/Fm às 13h (Figura 2B) em relação ao valor obtido na antemanhã na mesma variedade (Figura 2A), tendo em média valores de 0,74. Esse valor está próximo aos relatados por Bolhàr-Nordenkampf et al. (1989), os quais afirmam

que quando a planta está com seu aparelho fotossintético intacto, a razão Fv/Fm deve variar entre 0,75 e 0,85, ou seja, de 100 fótons que chegam no PSII, 75 a 85 deles são usados para reduzir a quinona a (Qa), que é aceptora de elétrons, indicando ótima eficiência do PSII. Já uma queda nesta razão reflete a presença de dano fotoinibitório nos centros de reação do Fotossistema II (PSII).

Nesse horário, as variedades que tiveram menor fotoinibição foram a Campinas e Cariri. Já as variedades Dona Diva e Rosinha tiveram os menores valores de Eficiência quântica potencial nesse horário de 13h, no qual predomina temperaturas mais elevadas e alta radiação luminosa. De acordo com Taiz & Zieger (2004), quando há excesso de excitação chegando ao PSII pode haver dano ou a sua inativação. Assim, a fotoinibição é um conjunto complexo de processos moleculares, definido como a inibição da fotossíntese por luz em excesso.

A redução no valor de F_v/F_m pode representar tanto uma redução fotoprotetora reversível como uma inativação irreversível do fotossistema II (Long et al., 1994; Araus e Hogan, 1994). A fotoinibição dinâmica deve

ser considerada como a capacidade de as plantas ajustarem-se fotossinteticamente às condições ambientes prevalentes, e não implicaria em danos à maquinaria fotossintética (Hurner et al., 1996). De acordo com Chagas et al. (2008), as variáveis fotoquímicas medidas através da fluorescência da clorofila é uma potencial ferramenta para a detecção de estágios inicial de danos oxidativos.

Quanto à eficiência quântica efetiva Φ_{PSII} (Figura 2C), observa-se que a variedade Dona Diva teve maior eficiência no transporte de elétrons, sinalizando maior eficiência fotossintética, seguida pela variedade Campinas. A variedade Rosinha apresentou redução em -18%, em relação à Dona Diva.

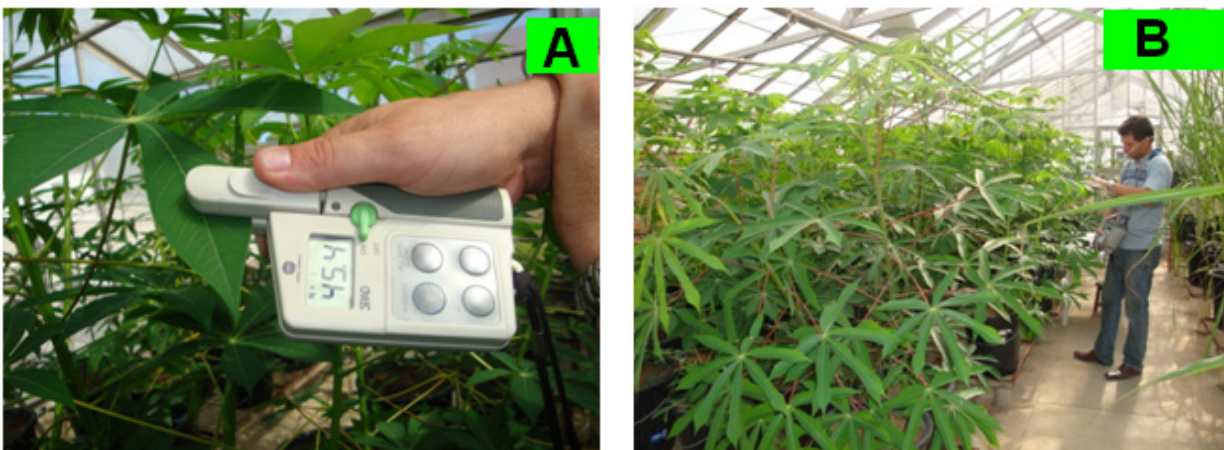


Figura 3. A) Avaliação da clorofila através do SPAD-502; B) Vista geral do cultivo de mandioca em casa de vegetação, aos 56 dias do plantio nos vasos, durante a avaliação da fluorescência da clorofila através do fluorômetro.

CONCLUSÕES

Sob condições ótimas de disponibilidade de água, as variedades Campinas e Rosinha possuem maior capacidade de fotossíntese devido à maior concentração de pigmentos fotossinteticamente ativos por unidade de peso de matéria fresca, bem como de maior capacidade de fotoproteção pela maior concentração de carotenóides.

Todas as variedades apresentam fotoinibição dinâmica quando cultivada em condições satisfatórias de umidade do solo, sendo a variedade Dona Diva a mais eficiente no transporte de elétrons e as variedades Campinas e Cariri as menos afetadas pela fotoinibição.

REFERÊNCIAS

- ANGELOPOULOS, K.; DICHIO, B.; XILOYANNIS, C. Inhibition of photosynthesis in olive trees (*Olea europaea* L.) during water stress and rewatering. **Journal of Experimental Botany**, v. 47, n. 301, p. 1093-1100, 1996.
- ARAUS, J. L.; AMARO, T.; VOLTAS, J.; NATKOUL, H.; NACHIT, M.M. Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under mediterranean conditions. **Field Crops Research**, v. 55, p. 209-223, 1998.
- ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, Maryland, v. 24, n. 1, p. 1-15, 1949.
- ARAUS, J. L.; HOGAN, K. P. Comparative leaf structure and patterns of photoinhibition of the neotropical palms. *Scheelea zonensis* and *Socratea durissima* growing in clearings and forest understory during the dry season in Panama. **American Journal of Botany**, v. 81, n. 6, p. 726-738, 1994.
- BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R. et al. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrument. **Functional Ecology**, v. 3, p. 497-514, 1989.
- CHAGAS, R. M.; SILVEIRA, J. A. G.; RIBEIRO, R. V.; VITORELLO, V. A.; CARRER, H. Photochemical damage and comparative performance of superoxide dismutase and ascorbate peroxidase in sugarcane leaves exposed to paraquat-induced oxidative stress. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 90, p. 181-188, 2008.
- FARIA, T.; SILVERIO, D.; BREIA, E.; et al. Differences in the response of carbon assimilation to summer stress (water deficits, high light and temperature) in four Mediterranean tree species. **Physiologia Plantarum**, v. 102, n. 3, p. 419-428, 1998.
- HURNER, N. P. A.; MAXWELL, D. P.; GRAY, G. R.; SAVITCH, L. V.; KROL, M.; IVANOV, A. G.; FALK, S. Sensing environmental temperature change through imbalances

between energy supply and energy consumption: redox state of photosystem II.

Physiol. Plant., v. 98, p. 358-364, 1996.

LONG, S. P.; HUMPHRIES, S.; FALKOWSKI, P. G. Photoinhibition of photosynthesis in nature. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. v. 45, p. 633-662, 1994.

SILVA, M. DE A.; JIFON, J. L.; SILVA, J. A. G. DA; SHARMA, V. Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 3, p. 193-201, 2007.

STRASSER, R. J., SRIVASTAVA, A., TSIMILLI-MICHAEL, M. **The fluorescence transient as a tool to characterize and screen Photosynthetic Samples**. In: Probing photosynthesis: mechanisms, regulation and adaptation. YUNUS, M.; PATHRE, U.; MOHANTY, P. Eds. Taylor & Francis, London, Chapter 25:pp. 445-483, 2000.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004, 719p.
