

# FISIOLOGIA DA CULTURA DA MANDIOCA (*Manihot esculenta* Crantz)

Elizeu Luiz Brachtvogel<sup>1</sup>; Magno Luiz de Abreu<sup>1</sup>; Felipe Curcelli, Marcelo Junior Gimenes<sup>1</sup>; Ana Carolina Costa Lara<sup>1</sup>; Ferdinando Marcos Lima Silva<sup>1</sup>; Silvio José Bicudo<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>FCA/UNESP/BOTUCATU

<sup>2</sup>Prof. dr. Depto de Produção Vegetal, FCA/UNESP/BOTUCATU

**RESUMO:** No Brasil, a mandioca tem grande importância econômica e social, constituindo-se num dos principais produtos básicos da alimentação da população, principalmente na forma de farinha e in natura. É cultivada em locais abaixo de 2000m de altitude das regiões equatoriais ou tropicais, principalmente no Brasil (com destaque para as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste), onde é frequentemente cultivada em agricultura de subsistência por apresentar bom desenvolvimento em solos pobres, resistência a pragas e doenças e adaptação a diferentes regiões edafoclimáticas. Parte desse sucesso é atribuído, por exemplo, ao bom desempenho fotossintético e eficiência do uso da água mesmo em condições não ótimas, e ao período de repouso fisiológico como um mecanismo de defesa da planta na época onde as condições de temperatura e precipitação não são favoráveis. Assim, esta revisão tem por intuito analisar os principais fatores ligados à fisiologia da cultura da mandioca, fases do desenvolvimento da cultura, e a relação entre mecanismos de adaptação e condições ambientais adversas.

**Palavras chaves:** condições edafoclimáticas, adaptação, fases do desenvolvimento, fotossíntese, índice de área foliar.

## CASSAVA (*Manihot esculenta* Crantz) CROP PHYSIOLOGY

**SUMMARY:** In Brazil, cassava has great economic and social importance, been one of the main products for human alimentation mainly in floor form and in natura consumption. The cassava is cultivated in lowlands (<2000m) of tropics, specially in Brazil, (mainly at North, North-West and Central-West regions), where is frequently cultivated in subsistent agriculture, having a good development in poor soils, pest and diseases resistance and wide adaptation to different regions. The success is attributed, in part, for a good photosynthetic performance and high water use efficiency in not optimum conditions, and a physiological rest period as plant defense against low temperature and rainfall conditions mainly at winter. Thus, the aim of this review is to analyze the main factors influencing the cassava crop physiology, developmental stages, and the relationships between adaptation mechanisms and environmental adverse conditions.

**Key words:** edaphoclimatic conditions, adaptation, development stages, photosynthesis, leaf area index.

## INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), originária da América tropical, é uma planta heliófita, arbustiva, perene, e pertence à família das Euforbiaceas (LORENZI et al, 2003). Acredita-se que foi domesticada no Brasil, pois é onde existe o maior número de espécies do gênero *Manihot* e a maior diversidade dentro das espécies, sem contudo, haver muitas evidências arqueológicas desse fato (MONTALDO, 1985; COCK, 1984).

Esta espécie é de grande importância socioeconômica para os agricultores e consumidores de poucos recursos econômicos de países tropicais, já que é um produto básico na sua dieta alimentar e ocupa o quarto lugar em importância como fonte de energia, depois do arroz, milho e cana de açúcar (COCK, 1984).

O cultivo de mandioca se estende por muitas regiões tropicais, em especial em zonas com solos de má qualidade, ácidos e inférteis; adapta-se bem a diversos regimes pluviométricos e a períodos prolongados de seca (PERESSIN et al., 1998), já que se observa altos rendimentos, mesmo com precipitações menores de 1000 mm/ano e temperaturas de aproximadamente a 28 °C (COCK & ROSAS, 1975; COCK & HOWELER, 1978; HOWELER & CADAVID, 1983). A mandioca é cultivada em muitos países, compreendidos por uma extensa faixa do globo terrestre, que vai desde 30º de latitude norte a sul e em altitudes inferiores a 2.000 m (COCK, 1985). Sua parte economicamente mais importante são as raízes tuberosas, ricas em amido, utilizadas na alimentação humana e animal ou como matéria-prima para diversas indústrias como a alimentícia, farmacêutica, de papel, têxtil, entre outras (TAKAHASHI & GONÇALO, 2005).

Apesar de ser importante fonte de alimento para as regiões tropicais, em especial para o Brasil, a mandioca tem sido relativamente pouco estudada em nosso País (SANGOI & KRUSE, 1993). Nesse sentido, para que se possa melhor compreender a

natureza dos controles internos de um cultivar sobre as interações planta-ambiente, é importante esclarecer aspectos ligados à produção, crescimento e desenvolvimento. Isso possibilita identificar os reais efeitos do clima na planta, e por consequência, adoção mais criteriosa de práticas adequadas que visem melhores resultados com a cultura.

## CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA PLANTA

A mandioca é uma das espécies mais eficientes quanto à produção de amido, pois obtém rendimentos de 80 t/ha por ano sob condições experimentais, com potencial energético similar ao da cana de açúcar, milho, sorgo e arroz. Contudo, sob condições subótimas, seu potencial de rendimento sobressai quando se compara com outros cultivos; fazendo com que a espécie tenha habilidade de produzir muitas vezes onde outros cultivos não cresceriam.

A propagação vegetativa através das manivas é a forma utilizada para propagação na cultura da mandioca. Embora é possível a propagação através de sementes, esta é restrita basicamente a etapas específicas dentro de programas de melhoramento genético. Nesta fase, os brotos e as raízes formam-se a partir das reservas existentes nas manivas. A maniva depositada no solo, reduz sua matéria seca, devido à respiração e posteriormente inicia a formação do 'callus' e expansões de algumas gemas auxiliares.

Neste período, as manivas dão origem tanto às raízes laterais ou nodais como às raízes básicas ou de 'callus' (TAKAHASHI et al, 2002).

Durante os 3 primeiros meses de cultivo, a formação de folhas tem prioridade sobre a formação de raízes de armazenamento; depois, a planta continua formando folhas, ao mesmo tempo em que armazena amido nas raízes. O índice de área foliar (IAF) aumenta entre 3 e 6 meses de idade da cultura, e logo começa a diminuir gradativamente à medida que as folhas mais velhas caem, devido à falta de luz na parte basal da planta. Nesse período, a taxa de

formação das folhas também diminui (ROSAS et al., 1976; COCK & EL-SHARKAWY, 1988).

Contudo, o IAF varia de acordo com o cultivar e com a disponibilidade de água (MEJÍA De TAFUR et al., 1997b).

## **FASES DO DESENVOLVIMENTO DA CULTURA**

A emergência das plantas ocorre de 5 a 15 dias após o plantio (DAP) quando as raízes alcançam cerca de 8 cm de comprimento. Primeiramente aparece a primeira brotação, e aos 10 a 12 dias brotam as primeiras folhas. Aos 15 dias está terminada essa fase (CONCEIÇÃO, 1979).

As folhas verdadeiras começam a se expandir por volta de 30 DAP, quando o processo fotossíntese começa a contribuir significativamente para o crescimento da planta. Até 30 DAP, o crescimento da parte aérea e sistema radicular dependem das reservas da maniva (ALVES, 2002). As raízes fibrosas começam a crescer, em substituição às adventícias. Essas novas raízes penetram o solo em profundidade, chegando a 40-50 cm de profundidade, e tem a função de absorver água e nutrientes necessários ao crescimento da planta (TAKAHASHI et al, 2002).

Algumas raízes fibrosas (entre 3 e 14) diferenciam-se em raízes de armazenamento (amiláceas), as quais já podem ser distinguidas das raízes fibrosas 60 a 90 DAP (COCK et al., 1979). Aos 75 DAP, essas raízes já representam cerca de 10 a 15% da matéria seca total da planta (ALVES, 2002).

As taxas de crescimento de folhas e caule alcançam o seu máximo neste período, e define-se o número de ramificações do colmo e a arquitetura da planta (ALVES, 2002). De 120 a 150 DAP a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa é máxima (VELTKAMP, 1985), acompanhada pelo máximo tamanho do dossel e máxima partição de massa de matéria seca para caule e folhas (HOWELER & C DAVID, 1983; RAMANUJAM, 1985; TÁVORA et al., 1995).

Assim, o maior crescimento vegetativo da cultura ocorre nesta fase (RAMANUJAM, 1985), apesar das raízes de armazenamento

continuarem a crescer durante esse período.

A partição de fotoassimilados das folhas para as raízes é acelerada, fazendo com que a massa das raízes de armazenamento cresça rapidamente. As maiores taxas de acúmulo de massa de matéria seca nas raízes de armazenamento ocorrem nesse período (TÁVORA et al., 1995; PERESSIN et al., 1998), e a senescência foliar aumenta, acelerando a taxa de abscisão foliar (ALVES, 2002), e o caule torna-se lignificado (CONCEIÇÃO, 1979).

O período de repouso ou dormência ocorre entre 300 e 360 dias após o plantio, dependendo da época de plantio e principalmente da ocorrência de condições climáticas que induzem ao repouso. Nesta fase a taxa de emissão de novas folhas decresce, quase todas as folhas caem e o crescimento vegetativo da parte aérea cessa.

Somente a translocação de amido para as raízes é mantida, e a máxima partição de massa de matéria seca para as raízes é atingida nesta fase (ALVES, 2002). Esta fase ocorre principalmente em regiões com variação significativa na temperatura e estresse hídrico, com a planta completando, desta forma, seu ciclo anual, o qual pode ser seguido por um novo ciclo.

## **ASPECTOS LIGADOS À FOTOSSÍNTESE EM *Manihot esculenta* Crantz**

O crescimento e desenvolvimento das plantas é ocasionado pela interação de processos fisiológicos que tornam possível a diferenciação celular; estes processos estão ligados a fotossíntese e a respiração; por isso, a produção de uma planta está intimamente relacionada com o processo de fotossíntese no qual interagem fatores ambientais como umidade, temperatura e obviamente a intensidade luminosa.

A planta de mandioca ajusta sua eficiência fotossintética à máxima intensidade de luz, à temperatura, ao estado fisiológico, a fatores genéticos, à abertura e fechamento estomático, os quais, por sua vez, estão determinados pelo estado hídrico da planta e pela umidade relativa do ar.

A fotossíntese líquida ou assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  é a resultante da diferença entre a taxa de fixação de  $\text{CO}_2$  integral ou total e a perda de  $\text{CO}_2$  pela fotorespiração. As espécies  $\text{C}_4$  possuem as mais altas taxas de fotossíntese; seus valores oscilam entre 32 e 47  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ; as espécies  $\text{C}_3$  tem menores taxas de fotossíntese e seus valores se encontram entre 18 e 32  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (EL-SHARKAWY et al., 1984; EL-SHARKAWY & COCK, 1987). No entanto, as folhas de mandioca tem uma capacidade fotossintética relativamente alta (EL-SHARKAWY & COCK, 1990; EL-SHARKAWY et al., 1992); tem-se encontrado taxas de fotossíntese de 35 a 45  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  no campo, durante épocas chuvosas com intensidades de luz maiores de 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de radiação fotossinteticamente ativa, e além disso, a mandioca apresenta diferenças varietais em sua capacidade fotossintética (MEJÍA De TAFUR et al., 1992; 1997).

Estudos indicam que a mandioca tem um ciclo fotossintético intermediário entre as plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ , sem a típica anatomia  $\text{C}_4$  Crantz (EL-SHARKAWY & COCK, 1987a; 1990; COCK et al., 1987). No entanto, esta conta com características morfológicas e fisiológicas que favorecem sua sobrevivência em ambientes adversos, como a capacidade de reciclar porções consideráveis de  $\text{CO}_2$  respiratório na presença de luz, a presença da maioria dos estômatos na face abaxial das folhas, entre outros (INDIRA, 1989; CERQUEIRA, 1989; EL-SHARKAWY & COCK, 1990).

As condições ambientais sob as quais as folhas se desenvolvem são importantes para o potencial fotossintético da mandioca, e influenciando no desenvolvimento das folhas.

Assim, baixas temperaturas além de ocasionar um lento desenvolvimento foliar da cultura (IRIKURA et al., 1979), também ocasionam redução na taxa fotossintética das folhas (EL-SHARKAWY et al., 1990; 1992; 1992; EL-SHARKAWY & COCK, 1990). Nesse sentido, demonstrou-se que a faixa de temperatura ótima nas folhas de mandioca é

de 25 a 35 °C (EL-SHARKAWY et al., 1993).

Ainda que a quantidade de água usada diretamente nas reações de fotossíntese seja pequena, comparada com aquela transpirada ou armazenada pelas plantas, a condição hídrica da planta influi notadamente no crescimento desta e na sua produção. A mandioca é um cultivo altamente produtivo em clima quente e úmido (RAMANUJAM, 1990; EL-SHARKAWY et al., 1990); e sob estas condições, apresenta uma alta capacidade fotossintética (EL-SHARKAWY, 1993). Porém, é importante ressaltar que a cultura também pode produzir bem em condições climáticas e edáficas adversas (EDWARDS & KANG, 1978; CONNOR et al., 1981).

A mandioca pode ser considerada como uma cultura eficiente no uso de água em comparação com outros cultivos; contudo, existem variedades com maior tolerância a estresse hídrico do que outras (EL-SHARKAWY & COCK, 1987b; MEJÍA De TAFUR et al., 1997a; 1997b). Um mecanismo de defesa da planta ao déficit hídrico é o de reduzir sua perda evaporativa por unidade de área; isto lhe confere incremento da resistência ao fluxo de água no trajeto entre o solo e a atmosfera, reduzindo a condutância estomática, o que diminui também a perda de água por transpiração. É neste aspecto onde os estômatos desempenham um papel importante na economia de água, pois ao contrário da perda de área foliar, o fechamento estomático não inclui o sacrifício das reservas já assimiladas e elaboradas como potencial para a produção de novas folhas (CONNOR & PALTA, 1981). Como as trocas gasosas da planta depende da abertura e fechamento estomático, a fixação de  $\text{CO}_2$  também será afetada pelo fechamento estomático e, conseqüentemente, as taxas fotossintéticas serão menores.

A mandioca é muito sensível à alterações na umidade relativa do ar ao longo do dia. Experimentos demonstram que os estômatos se fecham quando o ar está seco, e que a absorção de  $\text{CO}_2$  e a perda de água diminui quando o potencial hídrico do ar diminui muito, mesmo com bom teor de água

no solo; isto conduziria a uma diminuição progressiva da condutância estomática das primeiras horas da manhã até o meio dia, com conseqüente diminuição da taxa fotossintética (EL-SHARKAWY & COCK, 1984; EL-SHARKAWY et al., 1984; COCK et al., 1985; EL-SHARKAWY, 1990; MEJÍA De TAFUR et al., 1997a). A explicação para este fato é que os estômatos da folha de mandioca são muito sensíveis às mudanças de umidade relativa do ar (EL-SHARKAWY & COCK, 1984; COCK et al., 1985), mesmo em folhas túrgidas. Este mecanismo é atribuído a uma desidratação localizada do aparato estomático através da evaporação periestomatal, assim como a alta resistência ao movimento de água na fase líquida entre a epiderme e o mesófilo (EL-SHARKAWY et al., 1985; EL-SHARKAWY, 1990).

Assim, a mandioca rapidamente fecha seus estômatos quando o ar está seco, o qual é favorável especialmente quando este cultivo é submetido a grandes períodos de seca, já que ao diminuir a transpiração a água do solo pode ser consumida lentamente e maximizar a eficiência no uso da água (EL-SHARKAWY & COCK, 1984).

Assim como a água, a luz é um fator indispensável ao crescimento das plantas. De toda a radiação que provem do Sol, os vegetais só utilizam o espectro com comprimento de onda entre de 350 a 725 nanômetros, o que representa 45% a 49% do total da radiação recebida pela planta, chamada radiação fotossinteticamente ativa.

Quanto ao comportamento do aproveitamento da luz, as plantas apresentam dois pontos conhecidos: compensação e saturação luminosa. O ponto de compensação é a intensidade de luz mínima que a planta requer para que os produtos fotossintetizados pela fotossíntese e os consumidos pela respiração se igualem, sem sobras para o crescimento; portanto, a taxa de fotossíntese líquida é zero. Já o ponto de saturação luminosa é a intensidade de luz máxima que a planta pode receber, e que satura a capacidade de síntese de  $\text{CO}_2$  de seu aparato fotossintético. Trabalhos demonstraram que o

ponto de saturação luminosa da mandioca, quando em ambientes úmidos, é maior de  $1800 \mu\text{mol}$  de fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (EL-SHARKAWY et al., 1993); contudo, quando se apresentam em condições de estresse hídrico, o ponto de saturação de luz é menor (MEJÍA De TAFUR, 1994). Em 1987, Cock e colaboradores evidenciaram que a mandioca possui um sistema enzimático que permite fixar o  $\text{CO}_2$  pelos dois sistemas de fotossíntese C3 e C4; além disso, sugerem que em baixas temperaturas o ciclo C3 é dominante, e em altas temperaturas, a atividade da enzima fosfoenolpiruvato carboxilase aumenta; por tanto, predominando o ciclo C4. Segundo El-Sharkawy et al. (1984), todas as variedades testadas reduzem sua taxa fotossintética quando são submetidas a estresse hídrico, já que o déficit de pressão de vapor (DPV) entre a folha e o ar aumenta, mas que pode variar de variedade para variedade.

El-Sharkawy et al. (1992a; 1992b) encontraram uma diminuição significativa na absorção de  $\text{CO}_2$  e na condutância estomática das plantas com mais de 40 dias de estresse, quando a umidade relativa do ar era baixa. Além disso, a mandioca apresenta uma maior redução na taxa de fotossíntese quando o DPV aumenta em comparação com muitas outras espécies C3; isto coincide com uma diminuição na condutância estomática e na taxa de transpiração (EL-SHARKAWY et al., 1984).

A mandioca também tem uma alta eficiência no uso da água comparada com outras espécies, o que contribui para que a mesma tenha uma vantagem comparativa em condições de seca. El-Sharkawy et al. (1984) encontraram em feijão (C<sup>3</sup>) valores de  $3,9 \text{ mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ ; e em mandioca, valores de  $5,1 \text{ mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ , e em sorgo (C4),  $7.1 \text{ mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ .

Outro aspecto a ser considerado é o profundo sistema radicular que a planta apresenta. Connor et al. (1981) encontraram raízes fibrosas a 2 m de profundidade, característica que lhe permite extrair água de camadas do solo mais profundas, e importante

na tolerância a limitações hídricas impostas na época seca.

A produtividade da mandioca é determinada pela taxa de produção de biomassa seca e por sua eficiência em acumular os produtos fotossintetizados nas raízes tuberosas; e portanto, a capacidade fotossintética da planta é de grande importância em sua produtividade (RAMANUJAM, 1990). Estudos realizados por El-Sharkawy et al. (1990) mostraram correlações positivas e significativas entre a produção de raízes, biomassa seca e a taxa de fotossíntese em grupos de cultivares de mandioca, sob condições semiáridas e secas.

### **ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)**

O índice de área foliar (IAF) é definido como a área total de folhas da planta pela área ocupada pela planta, e é independente da orientação das folhas. O desenvolvimento e crescimento da planta estão determinados pela relação IAF e pela produção e distribuição de biomassa total na colheita. À medida que o IAF aumenta, a taxa de rendimento tende a aumentar até que esta atinja um nível de 4 a 5, o que corresponde a uma interceptação em torno de 95% da radiação fotossinteticamente ativa (COCK & EL-SHARKAWY, 1988).

Na mandioca, o IAF máximo oscila entre 4 e 8, dependendo da cultivar e das condições atmosféricas e edáficas que prevalecem durante o crescimento da cultura (EL-SHARKAWY & COCK, 1987b). Durante um período de seca, a cultura reduz seu IAF, produz folhas menores e em menor número, e a retenção das folhas já expandidas aumenta (ROSAS et al., 1976; COCK, 1979; CONNOR & COCK, 1981; MEJÍA De TAFUR, 1994; MEJÍA De TAFUR et al., 1997b). A redução da área foliar durante um período de seca pode ser considerado como um mecanismo de defesa da planta que diminui a perda de água por transpiração (CONNOR et al., 1981; CONNOR & PALTA, 1981; EL-SHARKAWY & COCK, 1987b). Contudo, uma redução do IAF durante um período prolongado de seca também reduz a taxa de crescimento da cultura, sendo essa diminuição mais

pronunciada na parte aérea da planta (EL-SHARKAWY & COCK, 1987b; MEJÍA De TAFUR, 1994; MEJÍA De TAFUR et al., 1997b).

Quando a época seca termina, a planta começa a se recuperar com rapidez e produz novas folhas (rebrotos) às custas do amido das raízes e caules; o IAF chega a superar o das plantas que não haviam sofrido estresse hídrico, e depois de um curto período de recuperação, o IAF começa a decrescer novamente; e a partir de então, a taxa de acúmulo de amido nas raízes aumenta (EL-SHARKAWY & COCK, 1987b).

No entanto, em condições de estresse o mais importante não é uma alta taxa de crescimento, e sim o uso mais eficiente da água disponível para conseguir manter a cultura, já que as plantas para permanecer ativas requerem um bom conteúdo interno de água.

### **POTENCIAL HÍDRICO DAS FOLHAS**

O potencial hídrico da folha é definido como a energia potencial por unidade de massa de água, comparado à água pura cujo potencial é zero. Estudos realizados por Connor e Palta (1981), Cock et al. (1985), El-Sharkawy et al. (1992b) e Mejía de Tafur (1994) demonstraram que o potencial hídrico das folhas de mandioca sofre pouca variação com o estresse hídrico. A capacidade da mandioca em manter seu potencial hídrico da folha se deve, em parte, ao fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, a uma considerável redução da condutância estomática, que reduz a perda de água (EL-SHARKAWY et al., 1992a; 1992b).

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A cultura da mandioca apresenta adaptação a diferentes condições edafoclimáticas. Esse fato é atribuído ao bom desempenho fotossintético e eficiência do uso da água mesmo em condições adversas, e por apresentar um período de repouso fisiológico como mecanismo de defesa da planta na época em que as condições de temperatura e precipitação não são favoráveis ao

crescimento e desenvolvimento. O crescimento, o desenvolvimento e a produtividade final da mandioca são afetados pelas condições ambientais específicas durante seu ciclo, principalmente pela deficiência hídrica. Contudo, a planta tem comportamento plástico de resposta ao ambiente, com habilidade de manutenção ou redução de processos fisiológicos-chaves, pois tem rápida resposta a mudanças da umidade relativa do ar, produz folhas para aumentar a captação da energia luminosa ou induz o repouso fisiológico e remobilização das reservas da folha para as raízes tuberosas.

Todos estes fatores contribuem para o bom desempenho da cultura mesmo em ambientes que apresentam limitações moderadas para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. A. C. Cassava botany and physiology. In: Hillocks, R. J.; Thresh, J. M.; Bellotti, A. C. (Org.). Cassava: Biology, Production and Utilization. Oxon, UK: CAB Publishing, 2002, p. 67-89.

CERQUEIRA, Y. M.. Efeito da deficiência de água na anatomia foliar de cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 1989. 113 p.

COCK, J. H.; EL-SHARKAWY, M. A. Physiological characteristics for cassava selection. *Experimental Agriculture*, v. 24 (4), p. 443-448. 1988.

COCK, J. H.; RIAÑO, N.; EL-SHARKAWY, M. A.; LÓPEZ, F.; BASTIDAS, G. C3-C4 intermediate photosynthetic characteristics of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). 2. Initial products of (14) CO<sub>2</sub> fixation. *Photosynthesis Research* v. 12, p. 237-241. 1987.

COCK, J. H. Cassava: new potential for a neglected crop. London, Westview Press, 1985. 191p.

COCK, J. H.; PORTO, M. C. M.; EL-SHARKAWY, M. A. Water use efficiency of cassava. 3. Influence of air humidity and water stress on gas exchange of field-grown cassava. *Crop Science* v. 25, p. 256-272. 1985.

COCK, J. H. Cassava: a basic energy source in the tropics. *Science*, v. 218 (4574), p. 755-762. 1984.

COCK, J. H.; FRANKLIN, D.; SANDOVAL, G.; JURI, P. The ideal cassava plant of maximum yield. *Crop Science*. v. 19, p. 271-279. 1979.

COCK, J. H.; HOWELER, R. H. The ability of cassava to grow on poor soils. In: Jung GA (ed.). Crop tolerance to suboptimal land conditions. ASA Special Publication no. 32. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. p. 145-154. 1978.

COCK, J. H.; ROSAS, S.C. Ecophysiology of cassava. Paper presented to internal Symposium on Ecophysiology of Tropical Crops, Manaus, Brasil. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 1975. 14 p.

CONCEIÇÃO, A. J. A Mandioca. UFBA/EMBRAPA/BNB/BRASCAN NORDESTE, Cruz das Almas, 1979.

CONNOR, D. J.; COCK, J. H.; PARRA, G. E. Response of cassava to water shortage. 1. Growth and yield. *Field Crops Research*, v. 4 (3) p. 181-200. 1981.

CONNOR, D.J.; COCK, J. H. Response of cassava to water shortage. 2. Canopy dynamics. *Field Crops Research*, v. 4 (4), p. 285-296. 1981.

CONNOR, D. J.; PALTA, J. Response of cassava to water shortage. 3. Stomatal control of plant water status. *Field Crops Research*, v. 4(4), p. 297-311. 1981.

EDWARDS, D. J.; KANG, B. T. Tolerance of

- cassava (*Manihot esculenta* Crantz) to high soil acidity. *Field Crops Research* v. 1, p. 337-346. 1978.
- EL-SHARKAWY, M. A.; CADAVID, L. F.; MEJÍA DE TAFUR, S.; CAICEDO, J. A. Genotypic differences in productivity and nutrient uptake and use efficiency of cassava as influenced by prolonged water stress. *Acta Agronômica*, v. 48(1-2), p.9-22. 1998.
- EL-SHARKAWY, M. A. Drought tolerant cassava for Africa, Asia and Latin America: breeding projects work to stabilize productivity without increasing pressures on limited natural resources. *BioScience*, v. 43(7), p. 441-452. 1993.
- EL-SHARKAWY, M. A.; MEJÍA DE TAFUR, S.; CADAVID, L. F. Photosynthesis of cassava and its relation to crop productivity. First International Scientific Meeting Cassava Biotechnology Network, Cartagena de Indias, Colombia, 1992. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 314-324. 1993.
- EL-SHARKAWY, M. A.; HERNÁNDEZ, A. DEL P.; HERSHEY, C. Yield stability of cassava during prolonged mid-season water stress. *Experimental Agriculture*, v. 28(2), p. 165-174. 1992a.
- EL-SHARKAWY M. A; MEJÍA DE TAFUR, S.; CADAVID, L. Potential photosynthesis of cassava as affected by growth conditions. *Crop Science*, v. 32(6), p. 1336-1342. 1992b.
- EL-SHARKAWY, M. A. Effect of humidity and wind on leaf conductance of field grown cassava. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 2(2), p. 17-22. 1990.
- EL-SHARKAWY, M. A.; COCK, J. H. Photosynthesis of cassava (*Manihot esculenta*). *Experimental Agriculture*, v. 26(3), p. 325-340. 1990.
- EL-SHARKAWY, M. A.; COCK, J. H.; LYNAM, J. K.; HERNÁNDEZ, A. DEL P.; CADAVID, L. F. Relationships between biomass, root-yield and single-leaf photosynthesis in field-grown cassava. *Field Crops Research*, v. 25(3-4), p. 183-201. 1990.
- EL-SHARKAWY, M. A.; COCK, J. H. C3-C4 intermediate photosynthetic characteristics of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). 1. Gas exchange. *Photosynthesis Research*, v. 12, p. 219-235. 1987a.
- EL-SHARKAWY, M. A.; COCK, J. H. Response of cassava to water stress. *Plant and Soil*, v. 100, p. 345-360. 1987b.
- EL-SHARKAWY, M. A.; COCK, J. H.; HERNÁNDEZ, A. del P. Stomatal response to air humidity and its relation to stomatal density in a wide range of warm climate species. *Photosynthesis Research*, v. 7, p. 137-149. 1985.
- EL-SHARKAWY, M. A.; COCK, J. H.; HELD, A. Water use efficiency of cassava. 2. Differing sensitivity of stomata to air humidity in cassava and other warm-climate species. *Crop Science*, v. 24(3), p. 503-507. 1984.
- EL-SHARKAWY, M.A.; COCK, J.H. Water use efficiency of cassava. 1. Effects of air humidity and water stress on stomatal conductance and gas exchange. *Crop Science* v. 24(3), p. 497-502. 1984.
- HOWELER, R. H.; CADAVID, L. F. Accumulation and distribution of dry matter and nutrients during 12 months growth cycle of cassava. *Field Crop Research*, v. 7, p. 325-340. 1983.
- INDIRA P. Cassava - a crop which suits for drylands farming. Central Tuber Crops Research Institute, Trivandrum, Kerala, India. 1963-1998:59-60. 1989.
- IRIKURA, Y.; COCK, J. H.; KAWANO, K. The physiological basis of genotype temperature interaction in cassava. *Field Crops Research*,



v. 2. p. 227-239. 1979.

LORENZI, J. O. Mandioca. Campinas: CATI, 2003. (Boletim Técnico, n.245).

MEJÍA DE TAFUR, S.; EL-SHARKAWY, M. A.; CALLE, F. Photosynthesis and yield performance of cassava in seasonally dry and semiarid environments. *Photosynthetica*, v. 33(2), p. 249-257. 1997a.

MEJÍA DE TAFUR, S.; EL-SHARKAWY, M. A.; CADAVID, L. F. Response of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) to water stress and fertilization. *Photosynthetica*, v. 33(10), p. 1-10. 1997b.

MEJÍA DE TAFUR S. Respuesta fisiológica de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) al estrés prolongado de agua y a la fertilización. Dissertação (Mestrado). Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia. 1994. 105 p.

MEJÍA DE TAFUR, S.; CADAVID, L. F.; EL-SHARKAWY, M. A. Respuesta de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) al déficit de agua y fertilización. *Suelos Ecuatoriales*, v. 24, p. 23-26. 1994.

MEJÍA DE TAFUR, S.; CADAVID, L. F.; EL-SHARKAWY, M. A. Respuesta de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) a la aplicación de fósforo en un ultisol de Santander de Quilichao. *Suelos Ecuatoriales*, v. 22(1), p. 95-97. 1992.

MONTALDO, A. La yuca o mandioca: cultivo, industrialización, aspectos económicos, empleo en la alimentación animal, mejoramiento. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica. 1985. 386 p.

PERESSIN, V. A. et al. Acúmulo de matéria seca na presença e na ausência de plantas infestantes no cultivar de mandioca Srt 59 - Branca de Santa Catarina. *Bragantia*, v. 57, n. 1, 1998.

PORTO, M.; COCK, J. H.; DE CADENA, G.;

PARRA, G.E.; HERNÁNDEZ, A DEL P. Acúmulo e distribuição de matéria seca em mandioca submetida à deficiência hídrica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 25(5), p. 557-565. 1989.

RAMANUJAM T. Effect of moisture stress on photosynthesis and productivity of cassava. *Photosynthetica*, v. 24(2), p. 217-224. 1990.

RAMANUJAM, T. Leaf density profile and efficiency in partitioning dry matter among high and low yielding cultivars of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Field Crops Research*, v. 10, p. 291-303. 1985.

ROSAS, C.; COCK, J. H.; SANDOVAL, G. Leaf roll in cassava. *Experimental Agriculture*, v. 12, p. 395-400. 1976.

SANGOI, L.; KRUSE, N.D. Acúmulo e distribuição de matéria seca em diferentes frações da planta de mandioca no planalto catarinense. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 28, p. 1151-1164, 1993.

SPEAR, S. N.; EDWARDS, D. G.; ASHER, C. J. Effects of nutrient supply on critical nutrient concentration in cassava plants. En: Ferguson AR; Bioloski RL; Ferguson IB (eds.). *International Colloquium on plant analysis and fertilizer problems*. 8th., Auchland, Nueva Zelandia. DSIR Information, 134:499-506. 1978.

TAKAHASHI, M & GONÇALO, S. A cultura da mandioca. 116 p, 2003.

TAKAHASHI, M. FONSECA JÚNIOR, N.S. TORRECILAS, S.M. Mandioca no Paraná. Curitiba: IAPAR, 2002. Circular técnica N° 123, 209p.

TÁVORA, F.J.A.F.; MELO, F.I.O.; PINHO, J. L. N.; Queiroz, G.M. Yield, crop growth rate and assimilatory characteristics of cassava at the coastal area of Ceará. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 7, n. 81-88. 1995.

VELTKAMP, H.J. Interrelationships between LAI, light interception and total dry matter yield of cassava. Agricultural University Wageningen Papers, v. 85, p. 36-46. 1985.