

Anatomia foliar de mandioca em função do potencial para tolerância à diferentes condições ambientais¹

Leaf anatomy of the cassava as related to potential for tolerance to different environmental conditions

Márcia de Nazaré Oliveira Ribeiro^{2*}, Samuel Pereira de Carvalho³, Fabricio José Pereira⁴ e Evaristo Mauro de Castro⁴

Resumo - A mandioca é uma importante planta cultivada em regiões tropicais, possuindo grande variabilidade genética ainda pouco estudada. O objetivo desse trabalho foi analisar a anatomia foliar de treze genótipos, para avaliar o seu potencial para adaptação em diferentes condições ambientais. Foram coletadas folhas completamente expandidas de treze genótipos de mandioca sendo analisadas quanto às modificações quantitativas na estrutura interna sob microscopia óptica. O delineamento foi inteiramente casualizado com 12 repetições e 13 tratamentos, os dados foram submetidos à Anava e ao teste de Scott-Knott. Os diferentes genótipos apresentaram grande plasticidade anatômica para a maioria dos caracteres, sendo que as modificações mais importantes ocorreram na densidade e tamanho dos estômatos; espessura dos tecidos da epiderme da face abaxial, do parênquima paliçádico e esponjoso; no floema e no xilema. Os genótipos UFLA E, IAC 14 e UFLA J se caracterizam como potenciais para condições xéricas devido a alta densidade estomática, estômatos menores, maior espessura da epiderme adaxial, parênquima paliçádico e esponjoso, menor vulnerabilidade do xilema e maior espessura do floema, o que permitiria redução na transpiração e melhor aproveitamento de uma grande quantidade de radiação incidente. Os demais genótipos apresentam características mais mesófitas. Dessa forma, os genótipos de mandioca possuem plasticidade anatômica e podem apresentar potencial para a seleção de características desejáveis para diferentes condições ambientais.

Palavras-chave - Mandioca. Anatomia foliar. Plantas-efeito da seca. Euforbiácea.

Abstract - Cassava is an important plant, cultivated in tropical regions, possessing great genetic variability which has still hardly been studied. The objective of this work was to examine the leaf anatomy of thirteen genotypes to assess their potential for adaptation in different environmental conditions. Fully unfolded leaves were collected from thirteen cassava genotypes being analyzed for quantitative changes in internal structure using optical microscopy. The experimental design was completely randomized with 12 replications and 13 treatments, the data were submitted to ANOVA and the Scott-Knott test. The different genotypes displayed great anatomical plasticity for most characters, with the most important changes occurring in the density and size of the stomata, tissue thickness of the abaxial epidermis, of the palisade and spongy parenchyma, in the phloem and xylem. The UFLA E, IAC 14 and UFLA J genotypes displayed as possibilities for xeric conditions, due to a high stomatal density, smaller stomata, a thicker adaxial epidermis, thicker palisade and spongy parenchyma, lower vulnerability of the xylem and greater thickness of the phloem, which would allow reduction in transpiration and better use of a large amount of incident radiation. The other genotypes exhibit more mesophytic features. Thus, cassava genotypes have anatomical plasticity, and can display the potential for selection of desirable characteristics for different environmental conditions.

Key words - Cassava. Leaf anatomy. Drought effect-plants. Euphorbiaceae.

*Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 24/02/2010; aprovado em 17/11/2011

Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, Universidade Federal de Lavras/UFLA

²Bolsista de Pós-Doutoramento do CNPq, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Av. Visconde do Rio Preto, Campus CTAN/UFSJ, São João Del Rei-MG, Brasil, 36.301-360, marcia_162@hotmail.com

³Departamento de Agricultura/UFLA, Caixa Postal 3.037, Lavras-MG, Brasil, 3.7200-000, samuelpc@dag.ufla.br

⁴Departamento de Biologia/UFLA, Caixa Postal 3.037, Lavras-MG, Brasil, 37.200-000, fjprock@hotmail.com, emcastro@ufla.br

Introdução

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), família Euphorbiaceae, é uma planta tropical cultivada amplamente em várias regiões do mundo, sob condições de altas temperaturas e precipitação acima de 500 mm, possuindo uma variabilidade genética ainda pouco conhecida (CERQUEIRA, 1992).

O centro de origem da mandioca está localizado na América Latina, sendo encontrada na forma nativa em uma grande área que abrange países como o Brasil, Peru, Venezuela, Guiana, Bolívia e Suriname, dificultando a indicação da região exata de origem (ALLEM, 1994). Em razão das regiões de origem das espécies de mandioca serem sujeitas à diferentes estresses, essas espécies podem exibir base genética para a tolerância à seca, altas temperaturas e mesmo à temperaturas mais amenas (NASSAR, 1979).

Várias características foram estudadas para avaliar a resposta das espécies vegetais ao déficit hídrico, destacando-se o potencial hídrico foliar (PIMENTEL; PEREZ, 2000), potencial osmótico e conteúdo relativo de água, temperatura foliar, condutância estomática e a transpiração (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2002; BASTOS *et al.*, 2002; BEZERRA *et al.*, 2003; LEITE *et al.*, 2000). Trabalhos avaliando o potencial de plantas de mandioca para a adaptação a essas condições ambientais são escassos, sendo que para a maioria dos genótipos um ambiente com precipitação entre 1.000 e 1.500 mm é o mais adequado (NASSAR; ORTIZ, 2007). Contudo, existem muitos genótipos de mandioca (NASSAR; ORTIZ, 2007) e alguns genótipos podem demonstrar melhor tolerância à seca (CALATAYUD *et al.*, 2002).

Os aspectos anatômicos da mandioca são ainda pouco estudados sendo que Nassar *et al.* (2008) destacam a importância do conhecimento dos aspectos anatômicos da espécie para os produtores, e relatam ainda variabilidade da estrutura do caule em função da poliploidia. Trabalhos com plantas do gênero demonstram que os tipos de frutos podem variar em relação às diferentes espécies quanto à esclerificação e deiscência (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2009). Modificações na anatomia foliar foram detectadas em diferentes cultivares de mandioca, promovendo diferenças na taxa fotossintética por modificar a relação área do mesófilo/área foliar, que pode modificar a difusão do CO₂ (EL-SHARKAWY *et al.*, 1989). Diferentes cultivares de mandioca demonstraram plasticidade para a anatomia foliar, exibindo diferenças nas características estomáticas, como a densidade, que podem demonstrar cultivares em potencial para a resistência à seca (CERQUEIRA, 1992).

As folhas de mandioca foram descritas por Ueno e Agarie (1997) como hipoestomáticas, com parênquima paliçádico e esponjoso definido, células da bainha

do feixe desenvolvidas com cloroplastos distribuídos radialmente. As ceras cuticulares de mandioca são ricas em triterpenos e possuem alcanos e ácidos carboxílicos em menor quantidade, podendo variar entre os genótipos (ZINSOU *et al.*, 2006). Apesar da ausência de estrutura Kranz típica, a fotossíntese na mandioca é considerada como C₄ por alguns autores (COCK *et al.*, 1987) ou como C₃ por outros (UENO; AGARIE, 1997), ou mesmo como C₃-C₄ intermediárias, devendo ainda ser realizados outros estudos.

A anatomia vegetal pode indicar características que atribuem tolerância a diferentes condições ambientais para as plantas cultivadas, como tolerância à seca (BATISTA *et al.*, 2010; GRISI *et al.*, 2008) e características da radiação, tais como a qualidade e intensidade da radiação que incidem sobre as folhas das plantas (SANTIAGO *et al.*, 2001) ou mesmo demais estresses como o alagamento (SOUZA *et al.*, 2007; SOUZA *et al.*, 2010) promovendo modificações na espessura do mesófilo, nos tecidos vasculares, na espessura da epiderme, na espessura da cutícula, na densidade e demais características estomáticas para a tolerância a essas condições.

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar a estrutura interna das folhas de 13 genótipos de mandioca, analisando essas características quanto ao potencial para a tolerância a ambientes mesofíticos e xerofíticos.

Material e métodos

O trabalho foi conduzido no campo experimental da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Foram coletadas folhas de 13 genótipos de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma (BAG) da UFLA, sendo as análises anatômicas conduzidas no Laboratório de Anatomia Vegetal da UFLA.

Foram coletadas as duas primeiras folhas completamente expandidas em três plantas por genótipo, sendo as folhas fixadas em F.A.A.70 (Formaldeído, ácido acético glacial e etanol 70% na proporção de 0,5; 0,5; 9,0) por 72 horas, sendo posteriormente armazenadas em etanol 70% (JOHANSEN, 1940). Foram selecionados os genótipos: Baiana, Baianinha, Fibra, IAC 12, IAC 13, IAC 14, IAC 15, Mocotó, Ouro do Vale, UFLA E, UFLA G, UFLA H e UFLA J, os quais foram cultivados em condições de campo com adubação e correção do solo de acordo com as recomendações e irrigação diária até a capacidade de campo, proporcionando condições hídricas ideais para todos os genótipos estudados (CERQUEIRA, 1992; NASSAR; ORTIZ, 2007).

Foram realizados cortes paradérmicos na região central dos dois lobos basais de cada uma das folhas coletadas, utilizando-se lâmina de aço e cortes transversais da região

mediana do lobo central de cada uma das folhas utilizando-se um micrótomo de mesa modelo LPC. Os cortes foram clarificados com hipoclorito de sódio 50% (comercial), lavados em água destilada por duas vezes durante 10 minutos, corados com solução de safranina 1% para os cortes paradérmicos ou solução safrablau (safranina 1% e azul de astra 0,1% na proporção de 7:3) para os cortes transversais, sendo posteriormente montados em lâmina e lamínula com água glicerina (1:1), as lâminas foram seladas com resina de nitrocelulose.

As lâminas foram observadas e fotografadas em microscópio óptico modelo Olympus BX 60 acoplado à câmera digital Canon A630. As imagens foram analisadas em software para análise de imagens UTHSCSA Imagetool, com a medição de cinco campos por repetição para cada variável analisada. Foram medidas: DP = diâmetro polar dos estômatos; DQ = diâmetro equatorial dos estômatos; NE = número de estômatos; NCE = número de células epidérmicas; EAD = espessura da epiderme da face adaxial; EAB = espessura da epiderme da face abaxial; PP = espessura do parênquima paliçádico; PE = espessura do parênquima esponjoso; CT = espessura da cutícula; FL = espessura do floema; NV = número de vasos de metaxilema; DX = diâmetro dos elementos traqueais do xilema. Foram calculados a densidade estomática (DE - número de estômatos por unidade de área), o índice estomático (IE - percentual de estômatos em relação ao total de células epidérmicas por área) e a funcionalidade estomática (FUN - considerada como a relação diâmetro polar/diâmetro equatorial dos estômatos) segundo Castro *et al.* (2009) e o índice de vulnerabilidade de Carlquist para o xilema segundo Carlquist (1975) e Castro *et al.* (2009).

O delineamento foi inteiramente casualizado com 12 repetições e 13 tratamentos, e a parcela experimental foi constituída por três campos de cinco secções anatômicas por folha, sendo avaliadas quatro folhas de três plantas por tratamento. Foram realizadas análises de variância e teste de Scott-Knott a 5% de significância, utilizando-se o software de análise estatística Sisvar (FERREIRA, 2000).

Resultados e discussão

As folhas de todos os genótipos exibem estrutura dorsiventral em secção transversal (FIG. 1), as diferenças de espessura das folhas são evidentes entre os genótipos, contudo, a estrutura básica se mantém em todos os genótipos. A cutícula está presente apenas na face adaxial, seguida de uma epiderme unisseriada na face adaxial, parênquima paliçádico formado por uma camada de células com poucos espaços intercelulares, parênquima esponjoso formado por cinco camadas de células aproximadamente isodiamétricas

com espaços intercelulares abundantes, a epiderme da face abaxial é formada por uma camada de células mais espessas que a da face adaxial, com papilas evidentes e a presença de estômatos localizados nos espaços delimitados pelas papilas, formando um microambiente adequado à restrição da transpiração excessiva (FIG. 1). Essa descrição e padrão da estrutura foliar para os genótipos estão de acordo com a descrita para a espécie por Ueno e Agarie (1997).

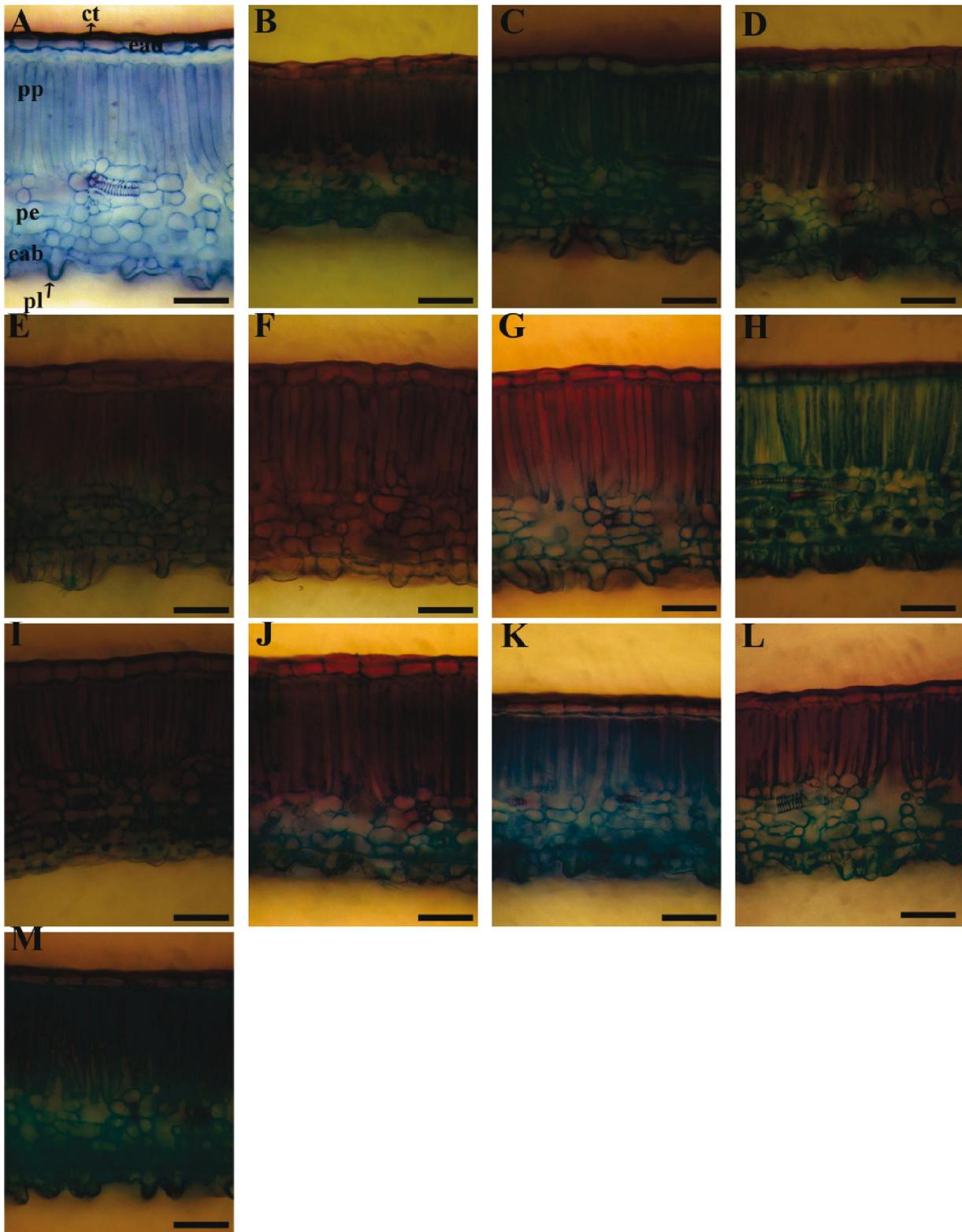
Os genótipos demonstraram diferentes características para as secções paradérmicas. O DP exibiu uma grande variação, demonstrando que as folhas de mandioca possuem plasticidade para essa característica (TAB. 1). Observa-se que o genótipo IAC 15 foi o que apresentou os maiores valores para essa característica sendo que o genótipo UFLA G, que exibiu os menores valores.

O diâmetro polar dos estômatos está diretamente relacionada com o tamanho dessas estruturas (CASTRO *et al.*, 2009), sendo que características ambientais são diretamente relacionadas com o DP, que pode aumentar em resposta à deficiência hídrica (BATISTA *et al.*, 2010; GRISI *et al.*, 2008). Dessa forma, os estômatos do genótipo IAC 15 parecem ser maiores que os dos demais genótipos, e os estômatos maiores podem ser associados com uma menor densidade estomática (TAB. 1), que pode indicar uma melhor adaptação desse genótipo às condições de uma alta disponibilidade de água, e menor radiação (BOEGER; WISNIEWSKI, 2003). Contudo, o índice estomático pode variar diferentemente da densidade estomática, sendo que genótipos com pequenos estômatos e baixa densidade estomática como o IAC 13 e UFLA H podem apresentar índices estomáticos relativamente altos devido ao maior tamanho das células epidérmicas regulares (TAB. 1).

A redução da transpiração pode ser associada com uma maior funcionalidade estomática, pois os estômatos se tornam mais elípticos (BATISTA *et al.*, 2010; CASTRO *et al.*, 2009; SOUZA *et al.*, 2010), a redução da transpiração pode ainda ser associada com uma maior DE, que frequentemente é observada em condições de maior quantidade de radiação e de menor disponibilidade de água (BOEGER; WISNIEWSKI, 2003; CASTRO *et al.*, 2009; SANTIAGO *et al.*, 2001; SOUZA *et al.*, 2007).

Dessa forma, entre as variedades com maiores valores para a FUN e DE destacam-se os genótipos UFLA E, IAC 14 e UFLA J, sendo que as maiores médias aparecem no genótipo UFLA E (TAB. 1), com valores superiores às menores médias (obtidas nos genótipos Baiana, UFLA G e Mocotó) para a FUN, demonstrando que esse genótipo apresenta os estômatos mais funcionais, e, associados com uma maior DE, sendo superior ao grupo formado pelos genótipos Baiana, UFLA H, IAC 15, IAC 13 e Baiantina, que, claramente constituem um grupo que

Figura 1 - Secções transversais das folhas de mandioca de diferentes genótipos



ct = cutícula, ead = epiderme da face adaxial, eab = epiderme da face abaxial, pp=parênquima paliçádico, pe = parênquima esponjoso, pl = papila. A = Baiana, B = Baianinha, C = Fibra, D = IAC 12, E = IAC 13, F = IAC 14, G = IAC 15, H = Mocotó, I = Ouro do Vale, J = UFLA E, K = UFLA G, L = UFLA H, M = UFLA J. Barras = 50 µm

Tabela 1 - Características das secções paradérmicas da epiderme foliar dos genótipos de mandioca

Genótipos	DP (µm)	DQ (µm)	FUN	DE	IE (%)
Baiana	43,61 c	27,94 a	1,56 d	100,22 d	09,65 b
Baianinha	43,90 c	26,11 a	1,69 c	149,75 b	12,83 b
Fibra	38,48 d	22,11 b	1,74 c	132,06 c	10,27 b
IAC 12	45,18 b	25,35 a	1,78 c	106,12 d	08,38 c
IAC 13	40,56 d	23,38 b	1,75 c	113,19 d	09,37 b
IAC 14	45,33 b	24,26 b	1,87 b	102,58 d	09,04 c
IAC 15	48,06 a	28,20 a	1,71 c	117,91 d	10,44 b
Mocotó	41,36 d	27,30 a	1,52 d	146,21 b	11,55 a
Ouro do Vale	40,55 d	23,10 b	1,75 c	176,87 a	10,53 b
UFLA E	42,82 c	20,40 b	2,12 a	146,21 b	11,93 a
UFLA G	35,32 e	22,71 b	1,56 d	187,18 a	12,47 a
UFLA H	39,09 d	23,54 b	1,66 c	101,40 d	08,03 c
UFLA J	42,72 c	23,03 b	1,86 b	134,42 c	11,29 a
Desvio padrão	±3,68	±2,81	±0,20	±28,94	±1,66

DP = diâmetro polar dos estômatos; DQ = diâmetro equatorial dos estômatos; DE = densidade estomática (estômatos por mm²); FUN = Funcionalidade estomática; IE = índice estomático. Todos os valores são expressos como a média ± desvio padrão. As médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott para P < 0,05

necessita maior disponibilidade de água. Esses genótipos podem ser relacionados com as descrições na literatura da necessidade de precipitações entre 1.000 e 1.500 mm anuais para que não ocorram restrições no crescimento das plantas de mandioca (CERQUEIRA, 1992; NASSIR; ORTIZ, 2007). Dessa forma, o genótipo UFLA E pode ser reconhecido como o que possui características xerofíticas para os estômatos, sendo mais adaptado às condições de baixa disponibilidade de água.

As características xeromorfas da mandioca podem ter, em parte, uma base genética devido a origem dessa espécie em regiões quentes e seca (ALLEM, 1994). Esses resultados estão de acordo com Calatayud *et al.* (2002) que relatam que alguns genótipos de mandioca podem tolerar muitos meses de baixa disponibilidade hídrica. As maiores DE e FUN podem conferir ao genótipo UFLA E uma alta adaptabilidade a ambientes xéricos, sendo essas características frequentemente associadas com esse tipo de ambiente (CASTRO *et al.*, 2009; GRISI *et al.*, 2008). Segundo Cerqueira (1992), essa espécie demonstrou plasticidade na DE em condições de deficiência hídrica, sendo que o nível de plasticidade foi diferente para as diferentes cultivares. Dessa forma, uma maior DE pode permitir uma abertura em um espaço de tempo menor, permitindo uma captação adequada de CO₂ e reduzindo o tempo em que esses estômatos ficam abertos, reduzindo, consequentemente a transpiração, permitindo uma melhor adaptação do genótipo UFLA E às condições de pouca disponibilidade de água.

Dentro dessas condições, os genótipos com características mais mesofíticas como definidas por Boeger e Wisniewski (2003) e Castro *et al.* (2009) (Baiana, UFLA H, UFLA G, Fibra, IAC 15, IAC 13, IAC 12, Baianinha, UFLA J e Ouro do Vale) com especial referência para o genótipo Mocotó, que possui uma alta densidade estomática com estômatos pouco funcionais (TAB. 1) que podem gerar uma excessiva transpiração para esse genótipo, dificultando a sua adaptação às condições mais secas. Esses dados corroboram as observações de Cerqueira (1992) que relata um aumento na densidade estomática nas folhas de genótipos de mandioca quando submetidos às condições de seca e enfatiza a importância dessa característica para a tolerância à seca na espécie.

Os estômatos em secção paradérmica são classificados como paracíticos em todos os genótipos estudados, e são localizados em depressões da epiderme, características de plantas xeromorfas (CASTRO *et al.*, 2009). A presença dos estômatos em depressões é acentuadamente mais evidente nos genótipos UFLA E, IAC 14, UFLA J e Ouro do Vale, esse fato corrobora a maior xeromorfia das folhas do genótipo UFLA E em especial, além dos IAC 14 e UFLA J, podendo ainda ser favorável para o genótipo Ouro do Vale. Essa característica é interessante, contribuindo para a redução da transpiração nesses genótipos, diminuindo a ação de ventos, que podem ser diretamente relacionados com a transpiração por remover o vapor de água da camada limitrofe nas folhas, aumentando o déficit de pressão de

vapor, promovendo um aumento na transpiração (CASTRO *et al.*, 2009; STRECK, 2003). Segundo El-Sharkawy *et al.* (1989) a fotossíntese nas plantas de mandioca é reduzida quando a diferença de pressão de vapor entre a folha e o ar excede o valor de 1,5 KPa, estando esta redução intimamente relacionada com o fechamento estomático e subsequente redução na condutância foliar. Dessa forma, o genótipo UFLA E se destaca com características estomáticas para reduzir a transpiração, sendo o genótipo mais indicado para o cultivo em condições xéricas, podendo ainda, se destacar os genótipos IAC 14 e UFLA J.

O genótipo UFLA E se destaca também com adaptações para reduzir a perda de água, com a EAD sendo superior em espessura, em relação ao grupo formado pelos genótipos com características mesomórficas (TAB. 2), esse padrão se repete nos genótipos IAC 14 e UFLA J, que exibiram características xerofíticas em secção paradérmica (TAB. 1 e 2). A espessura da EAD pode estar relacionada com as condições de intensidade de radiação ou das condições hídricas (CASTRO *et al.*, 2009; SOUZA *et al.*, 2007), atenuando a radiação incidente e reduzindo a taxa transpiratória. Dessa forma, os genótipos UFLA E, IAC 14 e UFLA J, em associação com as características estomáticas (TAB. 1) podem ser mais tolerantes à seca e alta intensidade luminosa, podendo ser indicados para tais condições.

A EAB pode ser menos responsiva às variações ambientais em relação à EAD, devido à radiação ser

diretamente incidente sobre a epiderme da face adaxial (CASTRO *et al.*, 2009) e a transpiração ocorrer principalmente pela epiderme da face abaxial (STRECK, 2003). A EAB pode não se modificar sob diferentes condições hídricas (BATISTA *et al.* 2010; GRISI *et al.*, 2008) dessa forma, como as plantas dos diferentes genótipos estavam em condições semelhantes, não ocorreram diferenças na EAB ($F_c = 0,985$; $P = 0,4755$).

O genótipo com as maiores médias para o PP foi o IAC 12, com valores superiores que o grupo formado pelos genótipos de menor PP (genótipos UFLA H, UFLA G, Fibra, Baianinha e Ouro do Vale). Um segundo grupo, formado pelos genótipos: Baiana, UFLA E, IAC 15, IAC 13, Mocotó, IAC 14 e UFLA J demonstraram valores intermediários para a espessura do parênquima paliçádico (TAB. 2). Esses valores são associados com os valores de PE, que exibiu dois grupos, o que possui menores valores de PE, formado pelos genótipos UFLA G e Baianinha que demonstrou valores menores que os demais genótipos (TAB. 2).

Diferentes genótipos de café demonstram diferenças no potencial para a tolerância ao estresse hídrico quanto às espessuras do PP e PE (BATISTA *et al.*, 2010), sendo que o PP está diretamente relacionado com a utilização da radiação na fotossíntese (CASTRO *et al.*, 2009; SOUZA *et al.*, 2010), e o PE está diretamente relacionado com a fotossíntese pela captação do CO₂ (CASTRO *et al.*, 2009). Dessa forma, os maiores valores para o PP e PE podem

Tabela 2 - Características dos tecidos foliares de diferentes genótipos de mandioca em secção transversal

Genótipos	EAD (µm)	PP (µm)	PE (µm)	IVC	FL (µm)
Baiana	14,35 b	119,22 b	73,88 a	0,51 d	122,03 a
Baianinha	11,86 b	091,55 c	54,42 b	1,03 a	116,64 a
Fibra	18,26 a	092,82 c	73,62 a	1,07 a	102,91 b
IAC 12	15,93 a	139,86 a	76,72 a	0,83 b	114,80 a
IAC 13	14,99 a	106,41 b	64,39 a	0,64 d	121,68 a
IAC 14	15,39 a	120,72 b	70,08 a	0,77 c	103,00 b
IAC 15	14,17 b	113,78 b	66,78 a	0,62 d	116,88 a
Mocotó	14,32 b	116,01 b	70,65 a	0,75 c	107,92 b
Ouro do vale	13,39 b	094,80 c	64,72 a	0,85 b	107,67 b
UFLA E	16,27 a	112,96 b	66,40 a	0,83 b	120,21 a
UFLA G	13,30 b	086,02 c	52,78 b	1,06 a	092,99 b
UFLA H	12,49 b	090,35 c	70,52 a	0,86 b	113,14 a
UFLA J	14,95 a	116,26 b	81,58 a	0,85 b	112,11 a
Desvio padrão	±2,44	±17,92	±11,33	±0,19	±13,21

EAD = espessura da epiderme da face adaxial, PP = espessura do parênquima paliçádico, PE = espessura do parênquima esponjoso, IVC = índice de vulnerabilidade de Carlquist, FL = espessura do floema. Todos os valores representam a média ± desvio padrão da média. As médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott para ($P < 0,05$)

conferir uma maior capacidade fotossintética aos genótipos que as exibem, sendo um fator favorável em condições de alta radiação incidente.

Em condições de alta radiação, ocorre uma maior espessura total das folhas, relacionada com o índice de esclerofilia (BOEGER; WISNIEWSKI, 2003) e com folhas de sol (CASTRO *et al.*, 2009), sendo que o aumento em espessura das folhas pode promover uma maior capacidade fotossintética por promover uma maior quantidade de espaços intercelulares e espaço para alocação dos cloroplastos, aumentando a fotossíntese potencial (OGUCHI *et al.*, 2003). A plasticidade das folhas de mandioca para aumentar o espaço interno de difusão de CO₂ está de acordo com os resultados de El-Sharkawy *et al.* (1989). Dessa forma, os maiores valores para a PP e PE podem ser relacionados diretamente com a fotossíntese e com a esclerofilia das folhas, que, dessa forma, podem ser adaptadas às maiores condições de radiação e de deficiência hídrica, dando destaque para os genótipos UFLA E, IAC 14 e UFLA J que, associados com as características estomáticas, podem ser mais eficientes para reduzir a transpiração e para aproveitar a radiação incidente.

A cutícula está diretamente relacionada com a redução da transpiração excessiva (CASTRO *et al.*, 2009). Os diferentes genótipos de mandioca estudados nesse experimento não demonstraram diferenças endógenas (Fc = 0,839; P = 0,6108). A pouca variação na CT em plantas de mandioca foi observada também por Zinsou *et al.* (2006), em resposta à infecção por patógenos. Contudo, se as plantas forem submetidas a condições de estresse hídrico e/ou radiação intensa, as diferenças na espessura da cutícula podem se tornar mais evidentes e os genótipos potencialmente mais xeromorfos podem demonstrar um espessamento na CT como demonstrado em diferentes espécies (BATISTA *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2010).

O IVC está diretamente relacionado com uma maior eficiência do sistema vascular das plantas podendo ser utilizado para inferir sobre a probabilidade de embolias no xilema, sendo diretamente relacionado com o número e diâmetro dos vasos de metaxilema (CARLQUIST, 1975; CASTRO *et al.*, 2009; HACKE; SPERRY, 2001; SOUZA *et al.*, 2009). O IVC pode variar de acordo com as condições ambientais, como a seca e o alagamento, sendo que a sua redução está relacionada com melhores condições do xilema para a condutividade hidráulica (CASTRO *et al.*, 2009; PEREIRA *et al.*, 2008).

Os genótipos que demonstraram algumas características xerófitas (UFLA E, IAC 14 e UFLA J) apresentaram valores menores para o IVC que o grupo de genótipos com as maiores médias (UFLA G, Fibra e Baianinha), sendo que os valores para o grupo xerófito

foram menores que as maiores médias (TAB. 2). Esses dados corroboram uma melhor condição dos genótipos UFLA E, IAC 14 e UFLA J para ambientes xerófitos, que frequentemente pode levar à embolia no xilema (HACKE; SPERRY, 2001), e, associados com as demais características permitem a esses genótipos uma melhor adaptabilidade a essas condições. Contudo, os genótipos com os maiores valores de IVC podem requerer ambientes com grande disponibilidade de água, pois, dessa forma, o risco de embolias ou problemas de condutividade hidráulica podem ser reduzidos.

O FL foi diferente para os diferentes genótipos (TAB. 2), formando dois grupos, com os maiores valores sendo maiores que os menores valores. O floema está diretamente relacionado com a translocação de fotosintatos das folhas para os órgãos dreno (CASTRO *et al.*, 2009). Dessa forma, os genótipos com os maiores valores para essa característica demonstram um maior potencial para translocação de fotoassimilados, podendo promover um maior desenvolvimento das raízes, produto de principal interesse para essa espécie. Destacam-se, nesse aspecto, os genótipos UFLA E e UFLA J para os ambientes xerófitos, e, os genótipos Baiana, UFLA H, IAC 15, IAC 13, IAC 12 e Baianinha para os ambientes mesófitos (TAB. 2), confirmando o potencial genético para a aclimatização em diferentes condições como observado por Nassar (1979) e Nassar e Ortiz (2007).

Conclusões

1. A estrutura interna dos 13 genótipos de mandioca estudados exibe diferenças que podem se relacionar com a adaptabilidade desses genótipos aos diferentes ambientes;
2. Os genótipos UFLA E, IAC 14 e UFLA J apresentam características mais xerófitas em relação aos demais genótipos, sendo potencialmente mais adequadas a ambientes com pouca água e muita radiação;
3. Os genótipos Baiana, UFLA H, UFLA G, Fibra, IAC 15, IAC 13, Mocotó, Baianinha e Ouro do Vale apresentam características mais mesófitas, sendo potencialmente mais adequados para regiões de boa disponibilidade de água.

Referências

- ALLEM, A. C. The origin of *Manihot esculenta* Crantz (Euphorbiaceae). **Genetics Resources and Crop Evolution**, v. 41, n. 03, p. 133-150, 1994.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. *et al.* Níveis de irrigação na cultura do feijão caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 06, n. 01, p. 17-20, 2002.

- BASTOS, E. A. *et al.* Parâmetros de crescimento do feijão caupi sob diferentes regimes hídricos. **Engenharia Agrícola**, v. 22, n. 01, p. 43-50, 2002.
- BATISTA, L. A. *et al.* Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 03, p. 475-481, 2010.
- BEZERRA, F. M. L. *et al.* Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n. 01, p. 13-18, 2003.
- BOEGER, M. R. T.; WISNIEWSKI, C. Comparação da morfologia foliar de espécies arbóreas de três estádios sucessionais distintos de floresta ombrófila densa (Floresta Atlântica) no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, n. 01, p. 61-72, 2003.
- CARLQUIST, S. **Ecological strategies of xylem evolution**. Berkeley: University of California Press, 1975. 259 p.
- CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia Vegetal: estrutura e função dos órgãos vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.
- CALATAYUD, P. A. *et al.* Wild *Manihot* species do not process C₄ photosynthesis. **Annals of Botany**, v. 89, p. 125-127, 2002.
- CERQUEIRA, Y. M. Efeito da deficiência de água na anatomia foliar de cultivares de mandioca *Manihot esculenta* Crantz. I- densidade estomática. **Sitientibus**, n. 10, p. 103-115, 1992.
- COCK, J. H. *et al.* C₃-C₄ intermediate photosynthetic characteristics of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) - II. Initial products of ¹⁴CO₂ fixation. **Photosynthesis Research**, v. 12, p. 237-241, 1987.
- EL-SHARKAWY, M. A.; COCK, J. H.; PORTO, M. C. M. Características fotossintéticas da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 01, n. 02, p. 143-154, 1989.
- FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.
- GRISI, F. A. *et al.* Avaliações anatômicas foliares em mudas de café 'Catuaí' e 'Siriema' submetidas ao estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 06, p. 1730-1736, 2008.
- JOHANSEN, B. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw-Hill Book, 1940. 523 p.
- HACKE, U. G.; SPERRY, J. S. Functional and ecological xylem anatomy. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 04, n. 02, p. 97-115, 2001.
- LEITE, M. L.; RODRIGUES, J. D.; VIRGENS FILHO, J. S. Efeitos do déficit hídrico sobre a cultura do caupi, cv. EMAPA-821. III. Produção. **Revista de Agricultura**, v. 75, n. 01, p. 09-20, 2000.
- NASSAR, N. M. A. Three brazilian *Manihot* species with tolerance to stress conditions. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 59, p. 553-555, 1979.
- NASSAR, N. M. A. *et al.* Anatomical alterations due to polyploidy in cassava, *Manihot esculenta* Crantz. **Genetic and Molecular Research**, v. 07, n. 02, p. 276-283, 2008.
- NASSAR, N. M. A.; ORTIZ, R. Cassava improvement: challenges and impacts. **Journal of Agricultural Science**, v. 145, p. 163-171, 2007.
- OGUCHI, R.; HIKOSAKA, K.; HIROSE, T. Does the photosynthetic light-acclimation need change in leaf anatomy? **Plant, Cell and Environment**, v. 26, n. 04, p. 505-512, 2003.
- OLIVEIRA, J. H. G.; OLIVEIRA, D. M. T. Morfoanatomia e ontogênese do pericarpo de *Manihot caerulescens* Phol. e *Manihot tripartita* Müll. Arg. (Euphorbiaceae). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 32, n. 01, p. 117-119, 2009.
- PIMENTEL, C.; PEREZ, A. J. L. C. Estabelecimento de parâmetros para avaliação de tolerância à seca em genótipos de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 01, p. 21-39, 2000.
- PEREIRA, F. J. *et al.* Evolução da anatomia radicular do milho 'Saracura' em ciclos de seleção sucessivos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 12, p. 1649-1656, 2008.
- SANTIAGO, E. J. A. *et al.* Aspectos da anatomia foliar da pimenta-longa (*Piper hispidinervium* C. DC.) sob diferentes condições de luminosidade. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 05, p. 1035-1042, 2001.
- SOUZA, G. S. *et al.* Estrutura foliar e de cloroplastídeos em *Mikania laevigata* Shultz Bip. ex Baker em diferentes condições de qualidade de luz. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 05. p. 78-80, 2007. Suplemento.
- SOUZA, T. C. *et al.* Morpho-anatomical characterization of root in recurrent selection cycles for flood tolerance of maize (*Zea mays* L.). **Plant, Soil and Environment**, v. 55, p. 504-510, 2009.
- SOUZA, T. C. *et al.* Leaf plasticity in successive selection cycles of 'Saracura' maize in response to soil flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 01, p. 16-24, 2010.
- STRECK, N. A. Stomatal response to water vapor pressure deficit: an unsolved issue. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 09, n. 04, p. 317-322, 2003.
- UENO, O.; AGARIE, S. The intercellular distribution of glycine decarboxylase in leaves of cassava in relation to photosynthetic mode and leaf anatomy. **Japanese Journal of Crop Science**, v. 66, n. 02, p. 268-278, 1997.
- ZINSOU, V. *et al.* Leaf waxes of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in relation to ecozone and resistance to *Xanthomonas* Blight. **Euphytica**, v. 149, n. 01/02, p. 189-198, 2006.