

LIMITE CRÍTICO DE ÁGUA NO SOLO PARA TRANSPIRAÇÃO E CRESCIMENTO FOLIAR EM MANDIOCA EM DOIS PERÍODOS COM DEFICIÊNCIA HÍDRICA⁽¹⁾

Diego Garrido Pinheiro⁽²⁾, Nereu Augusto Streck⁽³⁾, Gean Leonardo Richter⁽⁴⁾, Josana Andreia Langner⁽⁵⁾, José Eduardo Minussi Winck⁽⁴⁾, Lilian Osmari Uhlmann⁽⁶⁾ & Alencar Junior Zanon⁽⁷⁾

RESUMO

A cultura da mandioca geralmente é exposta a mais de um período de deficiência hídrica durante a estação de crescimento. O objetivo deste trabalho foi verificar se há diferença na Fração de Água Transpirável do Solo (FATS) crítica para transpiração e crescimento foliar em plantas de mandioca submetidas a um e dois períodos de deficiência hídrica no solo. Foram conduzidos dois experimentos com a cultura da mandioca, cultivar Fepagro RS 13. Os tratamentos foram quatro regimes hídricos subdivididos em dois períodos, período 1 (P1) e período 2 (P2): regimes hídricos RH1 e RH2 (sem e com deficiência hídrica nos dois períodos, respectivamente) e regimes hídricos RH3 e RH4 (com deficiência hídrica no P1 e P2, respectivamente). Usou-se o método da FATS para indicar os pontos críticos para transpiração e crescimento foliar. A FATS crítica foi 0,35, 0,38 e 0,37 para crescimento foliar e 0,28; 0,26; e 0,28 para transpiração no P1 do RH2 e RH3 e P2 do RH4, respectivamente. No P2 do RH2, a FATS crítica para crescimento foliar e transpiração foi 0,09 e 0,13, respectivamente. Concluiu-se que há diminuição na FATS crítica em mandioca no segundo período comparado ao primeiro período de deficiência hídrica no solo, que pode ser explicada pela menor área foliar, o que permitiu que o período de turgescência das folhas fosse maior e, com isso, demoraram mais a ativar seus mecanismos de controle estomático. A implicação prática desses resultados é que esses podem ser utilizados como parâmetros para irrigação da cultura, e também, na seleção de cultivares mais tolerantes à deficiência hídrica.

Termos de indexação: *Manihot esculenta*, aclimatação, estresse hídrico, FATS.

⁽¹⁾ Extraído da Dissertação de Mestrado do primeiro autor. Recebido para publicação em 10 de julho de 2013 e aprovado em 25 de agosto de 2014.

⁽²⁾ Mestre em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Av. Roraima, 1000, Bairro Camobi. Campus Universitário, Prédio 77. CEP 97105-900 Santa Maria (RS). E-mail: d.garridop@hotmail.com

⁽³⁾ Professor Associado, Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, UFSM. E-mail: nstreck1@smail.ufsm.br

⁽⁴⁾ Discente do curso de Agronomia, UFSM. E-mail: geanrichter@rocketmail.com, eduardo.winck@hotmail.com

⁽⁵⁾ Mestranda em Engenharia Agrícola, UFSM. E-mail: josana.langner@yahoo.com.br

⁽⁶⁾ Mestranda em Agronomia, UFSM. E-mail: liliuhlmann@yahoo.com.br

⁽⁷⁾ Doutorando em Agronomia. UFSM. E-mail: alencarzanon@yahoo.com.br

SUMMARY: SOIL WATER THRESHOLD FOR TRANSPIRATION AND LEAF GROWTH IN CASSAVA PLANTS IN TWO WATER DEFICIT PERIODS

A cassava crop is often exposed to more than one period of water deficit during the growing season. The objective of this study was to verify if there is a difference in the FTSW (fraction of transpirable soil water) threshold for transpiration and leaf growth in cassava plants subjected to one or two periods of water deficit. Two experiments with cassava (Fepagro RS 13 cultivar) were conducted. Treatments were four soil water regimes subdivided into two periods, period 1 (P1) and period 2 (P2): water regimes WR1 and WR2 (with water deficit in both periods and without water deficit in both periods, respectively), and water regimes WR3 and WR4 (with water deficit only in P1 or P2, respectively). The FTSW approach was used to indicate the threshold for transpiration and leaf growth. The FTSW threshold was 0.35, 0.38, and 0.37 for leaf growth and 0.28, 0.26, and 0.28 for transpiration in P1 of WR2 and WR3 and P2 of WR4, respectively. In P2 of WR2, the FTSW threshold for leaf growth and transpiration was 0.09 and 0.13, respectively. It was concluded that there is a decrease in the FTSW threshold in cassava during the second period compared to the first period of soil water deficit, which can be explained by the smaller leaf area, which allowed a longer leaf turgor period, thus delaying activation of the stomata control mechanisms. The practical implication of these results is that they can be used as parameters for crop irrigation, as well as for selecting cultivars more tolerant to water deficit.

Index terms: Manihot esculenta, acclimation, water stress, FTSW.

INTRODUÇÃO

No Brasil, além de ser fonte de alimento e forragem, a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) tem importância na indústria de etanol, como alternativa para a redução no uso de combustíveis fósseis (Soares et al., 2008). Em 2012, neste país, a produção de raízes de mandioca foi de 23,4 milhões de toneladas, com produtividade de 13,7 t ha⁻¹; as regiões Norte, Nordeste e Sul foram as maiores produtoras com 7,7; 6; e 5,6 milhões de toneladas, respectivamente (IBGE, 2013). No Rio Grande do Sul, onde a mandioca tem maior importância nas pequenas propriedades rurais, a produtividade foi de 15,1 t ha⁻¹ (IBGE, 2013), bem abaixo do potencial que é entre 25 e 60 t ha⁻¹ (Schons et al., 2009).

Uma das causas da baixa produtividade da mandioca no nordeste brasileiro é a deficiência hídrica, podendo ocorrer redução de 62 % na produção de raízes se o estresse ocorrer entre 30 e 150 dias, após o plantio (Fukuda & Iglesias, 1995). Apesar disso, a mandioca é considerada mais tolerante à seca, quando comparada a outras culturas anuais (El-Sharkawy & Tafur, 2010). A tolerância da mandioca à deficiência hídrica está ligada a mecanismos fisiológicos como o controle estomático, redução da área foliar e aprofundamento das raízes (El-Sharkawy, 2004, 2007). Além da senescência, a redução da área foliar é em razão da restrição do crescimento das folhas, que permanecem na planta durante a deficiência hídrica (Connor & Cock, 1981). O controle estomático é modulado pela concentração de ácido abscísico (ABA) na folha, a partir de sinais químicos enviados pelas raízes (Taiz & Zeiger, 2009). Após um período de estiagem, as plantas de mandioca emitem folhas novas,

aumentando o índice de área foliar rapidamente com as reservas de raízes e caules com a reidratação (El-Sharkawy, 2007).

No Rio Grande do Sul, o regime pluviométrico é isoigro (Buriol et al., 2006), mas no verão podem ocorrer estiagens de uma ou duas semanas, que são interrompidas por precipitações que reumidecem o solo, submetendo as plantas cultivadas a mais de um período de deficiência hídrica. A frequência dessas estiagens tem sido elevada no RS no início do século XXI; há possibilidade de essa frequência elevada se manter nas próximas duas décadas (Streck et al., 2009).

A fração da água transpirável do solo (FATS) é um índice bastante usado para avaliar o efeito do déficit hídrico do solo na transpiração e no crescimento foliar e na detecção do início do fechamento estomático (FATS crítica) (Sinclair & Ludlow, 1986; Lago et al., 2012). Lago et al. (2011) submetem plantas de mandioca a um único período com deficiência hídrica, encontrando FATS crítica para início do fechamento estomático de 0,45 e 0,50 e para crescimento foliar de 0,51 e 0,49, nas cultivares 'Fécula Branca' e 'Fepagro RS 13', respectivamente. No entanto, em condições de campo geralmente ocorrem mais de um período de deficiência hídrica e nesse caso os mecanismos fisiológicos em resposta ao estresse hídrico podem levar as plantas de mandioca à alguma forma de aclimação (Taiz & Zeiger, 2009), após o primeiro estresse hídrico.

Assim, é importante estender a abordagem de Lago et al. (2011) para mais de um ciclo de deficiência hídrica. Não foi encontrado na literatura nenhum trabalho que utilizasse a FATS com mais de um ciclo de deficiência hídrica, o que constituiu a motivação para realizar este trabalho. A hipótese neste trabalho é que, após um período com deficiência hídrica, as

plantas de mandioca apresentem alterações nas respostas ao segundo estresse hídrico. O objetivo foi verificar se há diferença na FATS crítica para transpiração e crescimento foliar em plantas de mandioca submetidas a um e dois períodos de deficiência hídrica no solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos com mandioca, cultivar Fepagro RS 13, foram realizados no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, RS (29° 43' S; 53° 43' W; 95 m). Os experimentos foram conduzidos no interior de um abrigo telado com área de 150 m², coberto com polietileno de baixa densidade de 200 µm de espessura e laterais com tela antiafídeos. Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado. A repetição foi uma planta cultivada num vaso de 8 L, preenchido com solo do horizonte A da Unidade de Mapeamento Santa Maria (Argissolo Bruno-Acinzentado alítico típico) (Embrapa, 2006), pH 4,8, 2 % de matéria orgânica, 22 % de argila e textura 3,0. A correção da acidez e dos nutrientes foi realizada conforme análise química de solo, de acordo com as indicações técnicas para a cultura da mandioca (CQFSRS/SC, 2004). As datas de plantio das manivas (15-20 cm de comprimento) e emergência das brotações foram, respectivamente, 29/09/2011 e 16/10/2011 no experimento 1 e 24/11/2011 e 4/12/2011, no 2. Os vasos ficaram sobre bancadas, a 70 cm do piso cimentado, e foram irrigados diariamente até o início dos tratamentos, quando as plantas tinham entre 15 e 17 folhas.

Os tratamentos foram constituídos por quatro regimes hídricos subdivididos em dois períodos cada: regimes hídricos RH1 e RH2, respectivamente, com e sem irrigação nos dois períodos; e regimes hídricos RH3 e RH4, sem irrigação nos períodos 1 e 2, respectivamente. A representação esquemática dos tratamentos está na figura 1. Os experimentos 1 e 2 tiveram os seguintes números de repetições (vasos), respectivamente: 10 e três vasos para massa de matéria seca inicial; 20 e 14 vasos para massa de matéria seca de plantas no final do período 1 (10 e sete por condição hídrica); 10 e sete vasos para o RH1; 10 e 10 vasos para o RH2; 10 e sete vasos para o RH3; e 10 e 10 vasos para o RH4. O menor número de vasos no experimento 2 foi em razão do menor número de manivas disponíveis para plantio, em decorrência das altas temperaturas médias do ar no mês de novembro, que induziram as brotações em muitas gemas nas ramas armazenadas.

O início do período 1 foi em 17/11/2011 no experimento 1 e em 17/01/2012, no 2. Um dia após o encerramento do período 1, iniciou o período 2 foi em 02/12/2011, no experimento 1; e em 03/02/2012, no experimento 2, com plantas entre 21 e 24 folhas. Um dia antes de iniciar cada período (dia zero), todos os vasos foram saturados com água e selados com filme

plástico branco, para minimizar a perda de água por evaporação, deixando-se drenar por 26 h (Sinclair & Ludlow, 1986). Após o encerramento da drenagem, efetuou-se a pesagem inicial para cada vaso às 17 h e, assim, iniciou-se uma rotina de pesagens diárias para todos os vasos dos experimentos no mesmo horário do dia.

A transpiração diária (TD) das plantas sem irrigação foi determinada pela diferença da massa do vaso no dia anterior em relação à massa do dia. Já a transpiração diária (TD) das plantas irrigadas foi definida pela diferença da massa do vaso no início de

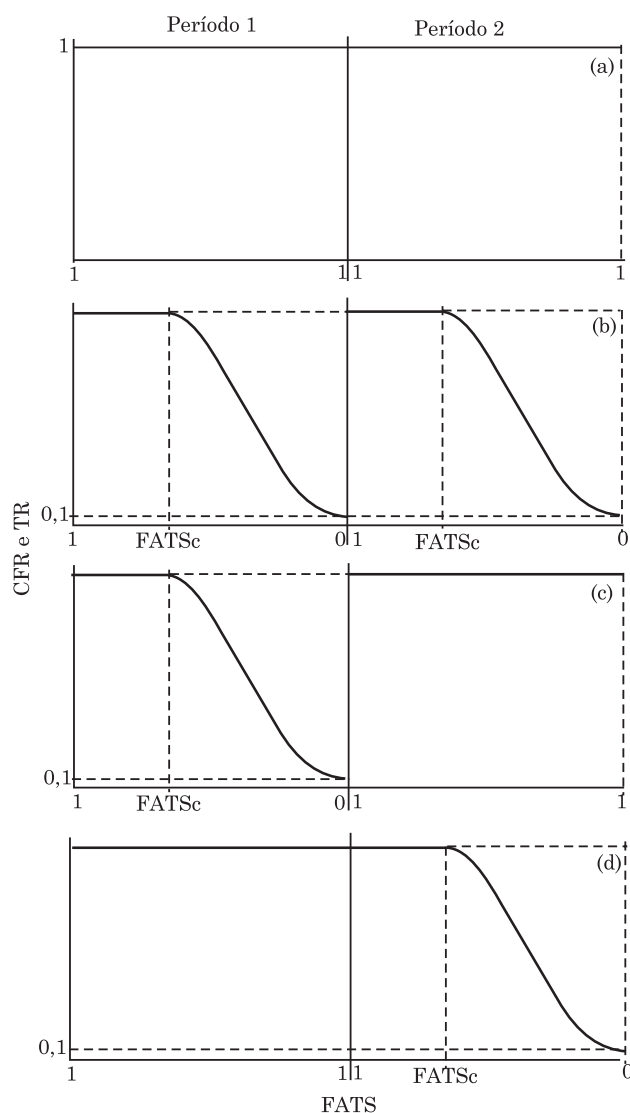


Figura 1. Representação esquemática dos tratamentos usados nos dois experimentos, referente à resposta do crescimento foliar relativo (CFR) e da transpiração relativa (TR) em função da fração da água transpirável do solo (FATS), em regimes hídricos com irrigação (RH1) (a) e sem irrigação (RH2) (b) nos dois períodos; sem irrigação somente no período 1 (RH3) (c) e somente no período 2 (RH4) (d).

cada período em relação à massa do dia, sendo irrigadas diariamente com a quantidade de água equivalente a essa diferença. No experimento 2, em razão da elevada área foliar alcançada pelas plantas no período 1, as plantas do RH4 no período 2 foram irrigadas quando as transpirações diárias excediam quantidades maiores que 250 mL, para se obter maior número de medidas (Devi et al., 2009).

A evaporação dos vasos foi quantificada diariamente pelas pesagens de oito vasos sem plantas, preenchidos com solo e igualmente selados, sendo quatro vasos conduzidos com irrigação da água evaporada durante o dia e quatro, conduzidos sem irrigação. A média diária das evaporações dos quatro vasos de cada condição hídrica foi subtraída das transpirações diárias de cada planta na mesma condição hídrica.

No início e final de cada período, foi medida a altura e contado o número acumulado de folhas e número de folhas senescidas de cada planta. Com isso, pela diferença das variáveis finais em relação as do início de cada período, obteve-se o crescimento em altura, o número de folhas emitidas e o número de folhas senescidas no período. A altura foi medida do nível do solo do vaso até o meristema apical da planta, e uma folha foi considerada visível quando um dos lóbulos da folha estivesse totalmente aberto (Schons et al., 2007).

Após cada pesagem dos vasos, efetuaram-se medidas diárias de área foliar de todas as plantas dos experimentos. O comprimento do maior lóbulo foi medido do ponto de inserção do pecíolo no limbo foliar até a ponta verde (Schons et al., 2007). A área de cada folha verde da planta foi calculada pela equação (Gabriel, 2013): $y = 0,1774 x^{2,4539}$, em que “y” é a área da folha (cm²) e “x”, o comprimento do maior lóbulo da folha (cm) ($R^2 = 0,9644$). A área foliar total de uma planta foi o somatório das áreas de suas folhas individuais. O coeficiente de transpiração (CT) foi calculado ao final de cada período, em L kg⁻¹, pela equação (Silva et al., 2004): $CT = (\text{transpiração acumulada da planta})/(\text{acúmulo de biomassa seca total da planta})$. A transpiração acumulada foi o somatório das transpirações diárias no período, e o acúmulo da biomassa seca total foi a diferença da matéria seca de cada planta, no final do período pela matéria seca média inicial do mesmo período.

A transpiração relativa (TR) e o crescimento foliar relativo (CFR) foram calculados diariamente para cada planta com deficiência hídrica (Sinclair & Ludlow, 1986; Lecour & Sinclair, 1996): TR ou $CFR = (\text{transpiração ou acréscimo foliar da planta no dia})/(\text{média das transpirações diárias ou acréscimos foliares das plantas do RH1})$. As médias das variáveis das plantas do RH3 foram utilizadas como denominador da equação apenas no período 2 do RH2, a fim de comparar o segundo período sem irrigação do RH2 com as plantas do RH3, também pré-expostas a um estresse hídrico anterior, denominando-se RH2/RH3. O acréscimo foliar foi a diferença entre as áreas foliares

de um dia, em relação ao dia anterior para cada planta. A variável de crescimento foliar acumulado das plantas foi quantificada pela soma dos acréscimos foliares diários, dentro de cada período. Conforme o método de Sinclair & Ludlow (1986), o período com deficiência hídrica de uma planta foi finalizado quando a $TR \leq 0,1$ (Figura 1). Assim, os períodos em cada tratamento foram encerrados quando a última repetição atingiu $TR \leq 10\%$.

O conteúdo de água no solo dos vasos foi representado pela FATS (Sinclair & Ludlow, 1986): $FATS = (\text{massa do vaso no dia} - \text{massa do vaso no final do período})/(\text{massa do vaso no início do período} - \text{massa do vaso no final do período})$. A massa do vaso no início do período foi obtida no primeiro dia do período, após a drenagem da água gravitacional; e a massa do vaso no final do período, no dia em que a $TR \leq 10\%$. Os dados de TR e CFR tiveram uma segunda normalização dividindo-se cada TR e CFR pela média das respectivas variáveis com FATS maior ou igual a 0,50, individualmente para cada planta (Lago et al., 2011; 2012). Os dados de TR e CFR em razão da FATS foram ajustados pela equação logística (Lecour & Sinclair, 1996): $y = 1/\{1 + \exp[-a(x-b)]\}$, em que “y” é a TR ou o CFR; “x” é a FATS; e “a” e “b” são parâmetros estimados pelo programa SAS (SAS, 2001), usando o procedimento PROC NLIN e o método de Marquard. A FATS crítica, para CFR e TR de 0,95 (Lago et al., 2011; 2012), foi determinada resolvendo-se a equação logística: $FATS \text{ crítica} = b - \ln(0,0526)/a$.

Durante os experimentos, foram medidas a temperatura mínima e a máxima diária do ar com termômetro de álcool e de mercúrio, respectivamente, instalados num miniabrigo meteorológico localizado junto às plantas dos experimentos. Para os cálculos do déficit de pressão de vapor (DPV) e do fluxo de radiação solar global incidente diário, foram utilizados dados de temperatura dos bulbos seco e úmido, às 15 h; e a insolação da estação convencional do 8º DISME/INMET, distante aproximadamente 300 m. Considerou-se que o polietileno do abrigo telado apresentava 80 % de transmitância à radiação solar global (Buriol et al., 1995).

As variáveis número de folhas emitidas, número de folhas senescidas, crescimento em altura, crescimento foliar acumulado, transpiração diária, transpiração acumulada, coeficiente de transpiração e acúmulo de biomassa seca total da planta foram todas analisadas em esquema bifatorial com parcelas subdivididas no tempo, sendo quatro parcelas principais (regimes hídricos) e duas subparcelas (períodos), enquanto a FATS crítica para TR e CFR foi em esquema unifatorial. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey a 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O déficit de pressão de vapor (DPV) médio foi de 2,4 e 2,8 kPa no período 1 e de 2,4 e 2,3 kPa, no 2; o

fluxo de radiação solar global incidente médio foi de 15,9 e 16,7 MJ m⁻² dia⁻¹ no período 1 e de 17,0 e 14,5 MJ m⁻² dia⁻¹, no 2. A temperatura média diária do ar foi de 27,8 e 31,8 °C no período 1 e de 28,3 e 32,3 °C, no 2, nos experimentos 1 e 2, respectivamente. Lago et al. (2011) dividiram os dias com DPV > 1,5 kPa (alta demanda) e DPV < 1,5 kPa (baixa demanda). Neste trabalho, 86 % (25/29) e 83 % (29/35) dos dias tiveram DPV acima de 1,5 kPa nos experimentos 1 e 2, respectivamente.

A redução da área foliar total nas plantas com deficiência hídrica foi evidenciada pelas variáveis de número de folhas emitidas e senescidas e crescimento foliar acumulado (Quadro 1). Durante o período 1,

enquanto a senescência foliar praticamente inexistiu nos regimes hídricos irrigados RH1 e RH4, as plantas dos regimes hídricos sem irrigação RH2 e RH3 perderam folhas do terço inferior e médio da haste principal, o que está de acordo com Alves (2006) e El-Sharkawy (2004), que afirmaram que a senescência foliar faz parte do mecanismo fisiológico que reduz a transpiração da planta de mandioca. Esses resultados estão de acordo com Bergantin et al. (2004), os quais verificaram que o crescimento do caule cessou logo no início do estresse hídrico, e as folhas emitidas e expandidas durante a deficiência hídrica atingiram áreas finais menores do que as de mandioca bem hidratadas.

Quadro 1. Número médio de folhas emitidas, número médio de folhas senescidas, crescimento médio em altura e crescimento foliar acumulado médio em plantas de mandioca, cultivar Fepagro RS 13, em regimes hídricos com irrigação (RH1) e sem irrigação (RH2), nos dois períodos, sem irrigação somente no período 1 (RH3) e somente no período 2 (RH4)

Regime hídrico	Experimento 1				Experimento 2			
	Período		Média	CV	Período		Média	CV
	1	2			1	2		
				%				%
	Número médio de folhas emitidas							
RH1	5,8 aA	5,7 aA	5,8	9,79	6,6 aA	4,9 bB	5,7	14,79
RH2	3,1 aB	3,5 aB	3,3	24,11	3,0 aB	3,4 aC	3,2	33,26
RH3	3,0 bB	5,1 aA	3,3	15,29	3,0 bB	6,0 aA	4,5	14,05
RH4	6,2 aA	1,8 bC	4,0	22,97	6,3 aA	2,4 bC	4,4	24,02
Média	4,5	3,7			4,7	4,2		
CV (%)	15,67	19,02			22,74	17,78		
	Número médio de folhas senescidas							
RH1	0,0 aB	0,0 aB	0,0	0,00	1,3 aB	0,0 bB	0,6	58,15
RH2	3,1 aA	0,0 bB	0,0	54,09	4,6 aA	0,9 bB	2,7	50,98
RH3	4,5 aA	0,0 bB	2,3	56,86	4,5 aA	0,2 bB	2,3	26,15
RH4	0,3 aB	0,9 aA	0,5	49,24	1,6 aB	3,9 aA	2,7	59,80
Média	1,6	0,2			3,0	1,2		
CV (%)	51,91	39,03			43,81	52,39		
	Crescimento médio em altura (cm)							
RH1	8,3 aA	7,1 aA	7,7	20,29	5,4 aA	6,7 aA	5,8	28,13
RH2	3,9 aB	2,3 bB	3,1	48,51	3,1 aB	3,1 aB	3,1	29,35
RH3	4,4 aB	5,5 aA	3,3	24,05	3,3 bB	6,0 aA	5,0	24,46
RH4	8,3 aA	1,7 bB	5,0	43,25	5,6 aA	2,1 bB	3,8	23,80
Média	6,2	3,3			4,3	4,6		
CV (%)	29,57	35,91			30,66	23,64		
	Crescimento foliar acumulado médio (cm ²)							
RH1	367 aA	431 aA	398	23,21	182 aA	231 aA	207	30,01
RH2	133 aB	140 aC	137	19,46	66 bB	114 aB	90	28,29
RH3	141 bB	237 aB	141	29,51	69 bB	223 aA	146	44,55
RH4	367 aA	107 bC	237	41,50	230 aA	85 bB	158	30,55
Média	252	205			137	164		
CV (%)	36,39	21,76			39,26	31,36		

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey (p<0,05). CV: coeficiente de variação.

Sharkawy (2007), as plantas voltam a emitir folhas novas e aumentar o IAF rapidamente à custa das reservas de raízes e caules e realocando menos fotoassimilados para as hastes (El-Sharkawy & Cadavid, 2002). Isso explica a fonte dos carboidratos que essas plantas podem ter utilizado para se recuperarem no período 2, pois, apesar de iniciarem com área foliar menor, as plantas do regime hídrico RH3 apresentaram resultados de número de folhas emitidas e crescimento em altura e foliar acumulado, equivalentes aos das plantas do RH1 (Quadro 1). As plantas do RH2 reduziram o crescimento da área foliar novamente no período 2, porém sem perda significativa de folhas por senescência.

O experimento 2 teve quatro dias a mais do que o 1; com isso, o acúmulo de biomassa seca total e a transpiração acumulada dos regimes hídricos irrigados no período 2 foram maiores no segundo experimento (Quadro 2). Os resultados indicaram que a eficiência do uso da água pela planta de mandioca foi similar para os regimes hídricos no período 2. Porém, no experimento 1, o coeficiente de transpiração do RH2 foi maior em relação aos regimes hídricos RH2 e RH3 no período 1 e RH4 no período 2, indicando que as plantas tiveram menor ativação do controle estomático durante o segundo período sem irrigação. Com isso, no período 2, as plantas do RH2 mantiveram a transpiração diária equivalente à das plantas bem hidratadas do RH3 por mais dias. Já, as plantas do RH4, por causa da elevada área foliar verde produzida no período 1, apresentaram transpirações diárias iniciais muito altas, acelerando a redução da FATS.

Como as demais FATS críticas para CFR e TR não diferiram significativamente entre os experimentos, fez-se a análise conjunta. Os valores críticos foram de 0,35, 0,38 e 0,37 para CFR e de 0,28, 0,26 e 0,28, respectivamente no período 1 do RH2, RH3 e RH4 (Figura 2a,b,c,d,e,f,g,h). Observou-se que a queda do CFR ocorreu antes do declínio da TR nas plantas (Figura 2). Esse resultado confirmou que a

perda de turgor celular é o primeiro efeito do estresse hídrico (Taiz & Zeiger, 2009), antes do início do fechamento estomático.

Os declínios do CFR e da TR nos regimes hídricos RH3 e RH4 indicaram que não houve influência da diferença de idade das plantas submetidas à deficiência hídrica (Quadro 3, Figura 2). A FATS crítica do RH4 para CFR foi 0,31 no experimento 1 e 0,40, no 2. Essa diferença pode ser explicada pela reposição parcial das transpirações diárias no experimento 2, pois a FATS decresceu de forma mais lenta em relação ao experimento 1; isto é, as plantas do RH4 tiveram mais tempo para ativar seus mecanismos fisiológicos no experimento 2, como a maior senescência foliar (Quadro 1), antecipando o limite crítico da FATS para CFR em relação ao RH4 do experimento 1. O declínio do CFR e da TR ocorreram mais tarde em relação aos demais regimes hídricos no período 2 do RH2 (Figura 2c,d), indicando que as plantas mantiveram o turgor celular até próximo do início do fechamento estomático e apresentaram maior tolerância ao conservar a FATS dos vasos por mais tempo em relação ao seu primeiro período sem irrigação e ao período 2 do RH4.

A FATS crítica do RH2/RH3 foi de 0,22 para CFR e 0,20 para TR (Figura 3e,f), não apresentando diferença entre os experimentos (Quadro 3). No período 2, os limites críticos para CFR e TR do RH2/RH3 aumentaram em relação aos do RH2, porém apresentando diferença estatística apenas no CFR do experimento 1. Com isso, o tratamento RH2/RH3 também teve a FATS crítica menor em relação aos regimes hídricos RH2 no período 1, RH3 e RH4. Portanto, como os declínios para CFR e TR também ocorreram em momento próximo no RH2/RH3, reforçou-se a evidência do efeito de uma deficiência hídrica anterior. Como as plantas do RH2 iniciaram o período 2 com menor área foliar em relação às plantas não aclimatadas do RH4, houve maior conservação da FATS dos vasos, por causa das menores

Quadro 3. Fração da água transpirável do solo crítica média para o crescimento foliar relativo (CFR) e para a transpiração relativa (TR) em plantas de mandioca, cultivar Fepagro RS 13, nos períodos sem irrigação dos regimes hídricos

Período	Regime hídrico	CFR			TR		
		Experimento			Experimento		
		1	2	CV	1	2	CV
				%			%
1	RH2	0.38 aA	0.36 aA	21.77	0.27 aA	0.29 aA	27.49
	RH3	0.38 aA	0.38 aA	24.06	0.23 aA	0.27 aA	26.83
2	RH4	0.31 bA	0.40 aA	19.62	0.23 aA	0.29 aA	22.64
	RH2	0.10 aC	0.13 aB	45.59	0.13 aB	0.12 aB	44.93
	RH2/RH3	0.20 aB	0.17 aB	34.18	0.17 aB	0.18 aAB	43.81
	CV (%)	25.37	33.95		18.83	38.90	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na linha, e maiúscula, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV: Coeficiente de variação.

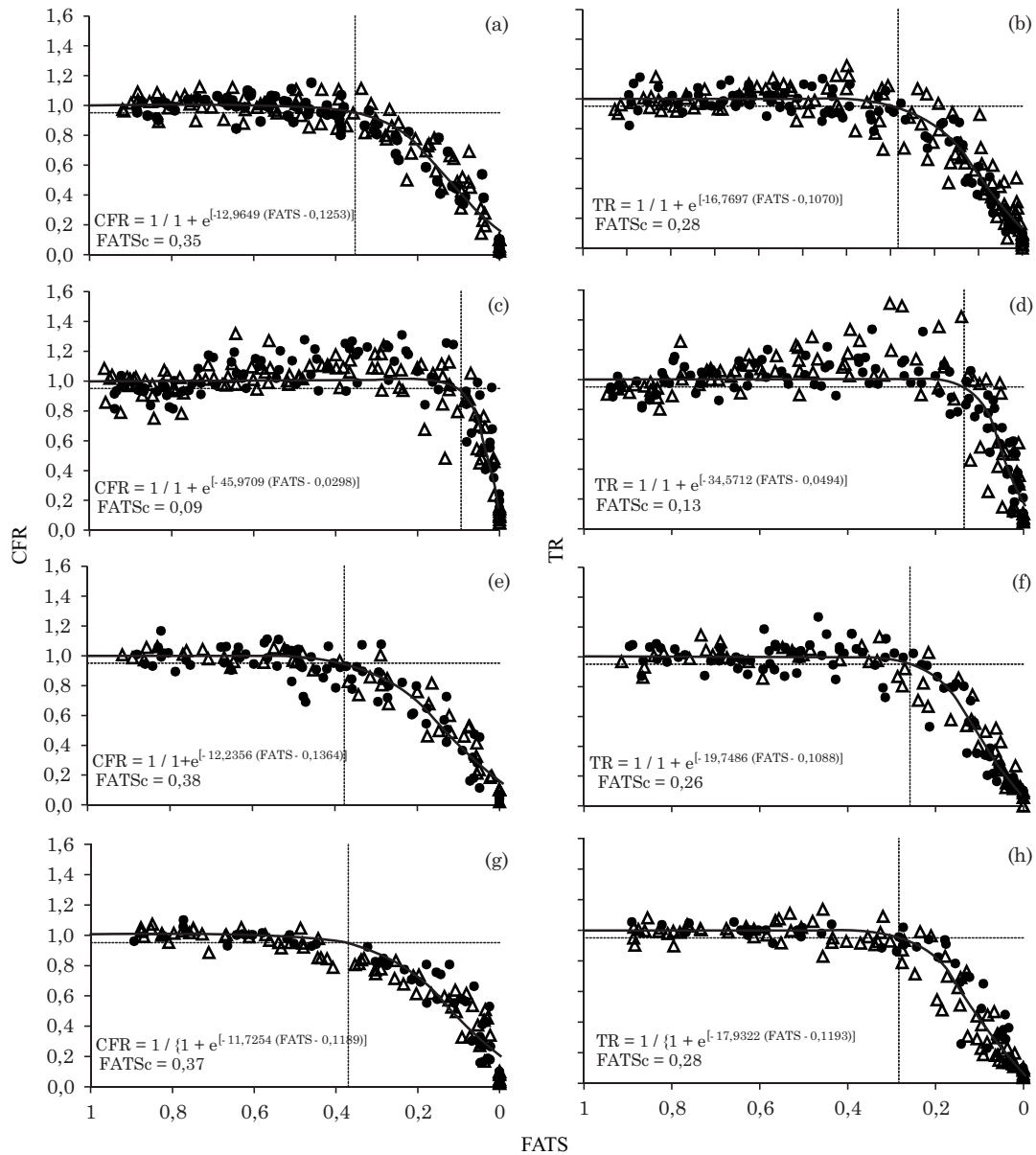


Figura 2. Crescimento foliar relativo (CFR) e transpiração relativa (TR) em função da fração da água transpirável do solo (FATS) em plantas de mandioca, cultivar Fepagro RS 13, em períodos sem irrigação: RH2 no período 1 (a, b) e no período 2 (c, d); RH3 no período 1 (e, f); e RH4 no período 2 (g, h), em experimentos iniciados em 29/09/2011 (círculo) e em 24/11/2011 (triângulo).

transpirações diárias. No entanto, as plantas do RH4, ao esgotarem a FATS dos vasos mais rapidamente, anteciparam a queda do CFR e da TR, em relação às plantas do RH2 (Figura 2c,d,g,h).

O ciclo da cultura da mandioca é variável (nove a 12 meses) entre as diferentes regiões de cultivo no Brasil, e a deficiência hídrica é um problema comum enfrentado pelos produtores. Portanto, os limites críticos encontrados neste trabalho podem funcionar como parâmetros para quantificar a umidade do solo, servindo, assim, como ferramenta para tomada de decisão de quando irrigar uma lavoura de mandioca, visando otimizar o uso da água e aumentar a

produtividade de raízes tuberosas. Além disso, a diferente resposta da FATS crítica para transpiração e crescimento foliar nos períodos de deficiência hídrica pode ajudar na seleção de cultivares mais tolerantes a esse tipo de estresse (Lago et al., 2011).

CONCLUSÕES

1. Há diminuição da FATS crítica para transpiração e crescimento foliar em mandioca no segundo período de deficiência hídrica no solo, em

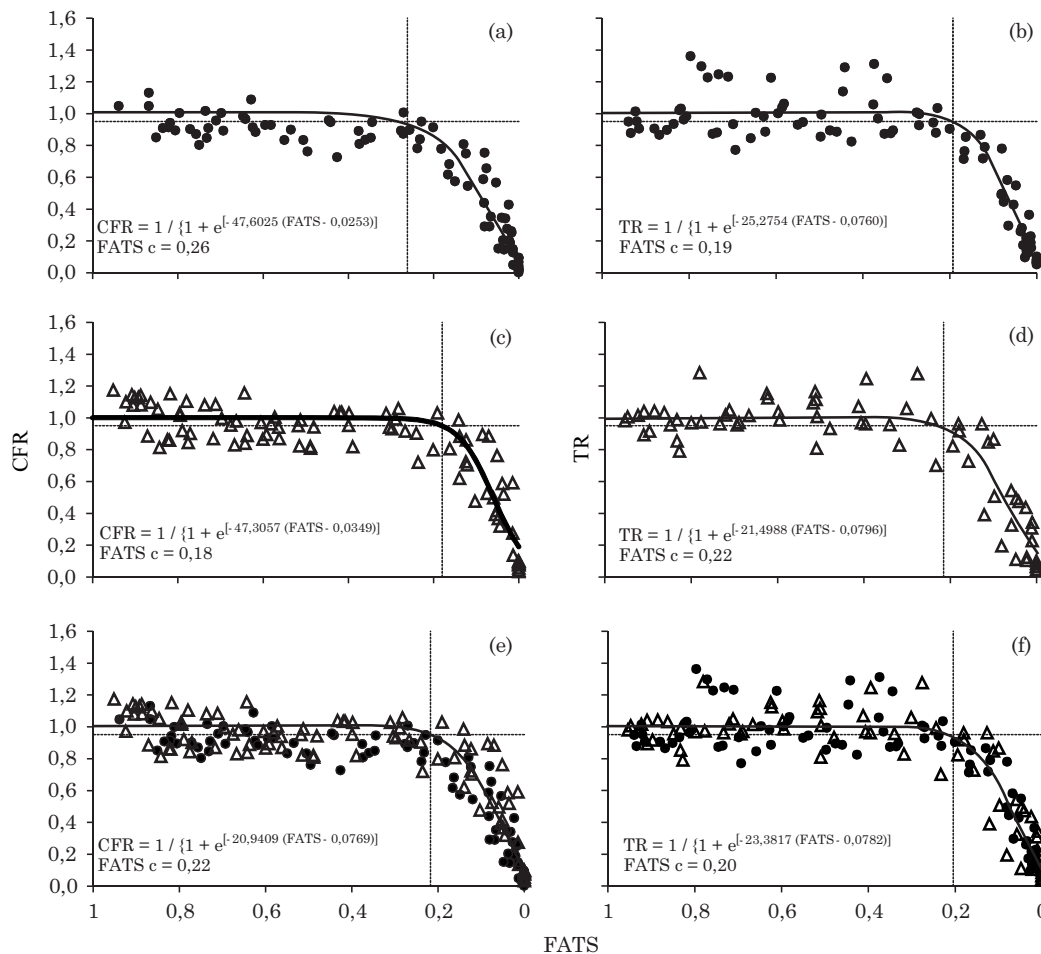


Figura 3. Crescimento foliar relativo (CFR) e transpiração relativa (TR) em função da fração da água transpirável do solo (FATS) em plantas de mandioca, cultivar Fepagro RS 13, somente no segundo período sem irrigação do regime hídrico RH2/RH3 para o experimento 1 (a, b), para o experimento 2 (c, d) e para a análise conjunta dos dois experimentos (e, f), iniciados em 29/09/2011 (círculo) e em 24/11/2011 (triângulo).

comparação com o primeiro, confirmando a hipótese deste trabalho.

2. O declínio do crescimento foliar ocorre antes da queda da transpiração no primeiro período, enquanto o crescimento foliar e a transpiração decaem em momentos próximos no segundo período com deficiência hídrica do solo.

LITERATURA CITADA

- ALVES, A.A.C. Fisiologia da mandioca. In: SOUZA, L.S., ed. Aspectos socioeconômicos e agrônomicos da mandioca. Cruz das Almas, Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. p.138-169.
- BERGANTIN, R.V.; YAMAUCHI, A.; PARDALES, J.R. & BOLATELE, D.M. Screening cassava genotypes for resistance to water deficit during crop establishment. *Philippine J. Crop Sci.*, 29:29-39, 2004.
- BURIOL, G.A.; STRECK, N.A.; PETRY, C. & SCHNEIDER, F.M. Transmissividade a radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas. *Ci. Rural*, 25:1-4, 1995.
- BURIOL, G.A.; ESTEFANEL, V.; SWAROWSKY, A. & D'AVILA, R.F. Homogeneidade e estatísticas descritivas dos totais mensais e anuais de chuva de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Rec. Hídric.*, 11:89-97, 2006.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFSRS/SC. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 400p.
- CONNOR, D.J. & COCK, J.H. Response of cassava to water shortage. II. Canopy dynamics. *Field Crops Res.*, 4:285-296, 1981.
- DEVI, M.J.; SINCLAIR, T.R.; VADEZ, V. & KRISHNAMURTHY, L. Peanut genotypic variation in transpiration efficiency and decreased transpiration during progressive soil drying. *Field Crops Res.*, 114:280-285, 2009.

- EL-SHARKAWY, M.A. & TAFUR, S.M. Comparative photosynthesis, growth, productivity, and nutrient use efficiency among tall- and short-stemmed rain-fed cassava cultivars. *Photosynthetica*, 48:173-188, 2010.
- EL-SHARKAWY, M.A. Physiological characteristics of cassava tolerance to prolonged drought in the tropics: Implications for breeding cultivars adapted to seasonally dry and semiarid environments. *Braz. J. Plant Physiol.*, 19:257-286, 2007.
- EL-SHARKAWY, M.A. Cassava biology and physiology. *Plant Molec. Biol.*, 56:481-501, 2004.
- EL-SHARKAWY, M.A. & CADAVID, L.F. Response of cassava to prolonged water stress imposed at different stages of growth. *Exp. Agric.*, 38:333-350, 2002.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- FUKUDA, W.M.G. & IGLESIAS, C. Desenvolvimento de germoplasma de mandioca para as condições semi-áridas. *R. Bras. Mandioca*, 14:17-38, 1995.
- GABRIEL, L.F. Simulação da produtividade de mandioca para o estado do Rio Grande do Sul. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2013. 92p. (Dissertação de Mestrado)
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Levantamento Sistemático da produção agrícola: Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Rio de Janeiro, 2013. 86p.
- LAGO, I.; STRECK, N.A.; BISOGNIN, D.A.; SOUZA, A.T. & SILVA, M.R. Transpiração e crescimento foliar de plantas de mandioca em resposta ao déficit hídrico no solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 46:1415-1423, 2011.
- LAGO, I.; STRECK, N.A.; ZANON, A.J.; HANAUER, J.G.; BISOGNIN, D.A. & SILVA, M.R. Transpiração e crescimento foliar de clones de batata em resposta à fração de água transpirável no solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 36:745-754, 2012.
- LECOUR, J. & SINCLAIR, R.T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. *Crop Sci.*, 36:331-335, 1996.
- SAS INSTITUTE. SAS user's guide: statistics 8.2. Cary, 2001. 1028p.
- SCHONS, A.; STRECK, N.A.; STORCK, L.; BURIOL, G.A.; ZANON, A.J.; PINHEIRO, D.G. & KRAULICH, B. Arranjos de plantas de mandioca e milho em cultivo solteiro e consorciado: crescimento, desenvolvimento e produtividade. *Bragantia*, 68:155-167, 2009.
- SCHONS, A.; STRECK, N.A.; KRAULICH, B.; PINHEIRO, D.G. & ZANON, A.J. Emissão de folhas e início da acumulação de amido em raízes de uma variedade de mandioca em função da época de plantio. *Ci. Rural*, 37:1586-1592, 2007.
- SILVA, W.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A.A. & CARDOSO, A.A. Índice de consumo e eficiência do uso da água em eucalipto submetido a diferentes teores de água em convivência com a braquiária. *Floresta*, 34:325-335, 2004.
- SINCLAIR, T.R. & LUDLOW, M.M. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. *Aust. J. Plant Physiol.*, 13:329-340, 1986.
- SOARES, L.H.B.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. & BODDEY, R.M. Balanço energético na produção de bioetanol de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Rio de Janeiro, Embrapa, 2008. 4p. (Circular Técnica, 23)
- STRECK, N.A.; BURIOL, G.A.; HELDWEIN, A.B.; GABRIEL, L.F. & PAULA, G.M. Associação da variabilidade da precipitação pluvial em Santa Maria com a Oscilação Decadal do Pacífico. *Pesq. Agropec. Bras.*, 44:1553-1561, 2009.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 4.ed. Porto Alegre, Artmed, 2009. 820p.