

# Relação entre consumo de água e produção na cultura de milho

Durval Dourado Neto, Klaus Reichardt, Quirijn de Jong van Lier, Luiz Gustavo Nussio e Ricardo Ferraz de Oliveira\*

A previsão de áreas cultivadas no Brasil, para a safra 2014/2015, são as que seguem, de acordo com os cultivos: algodão, 1.017.100 ha; amendoim, 108.900 ha; arroz, 2.295.000 ha; aveia, 189.900 ha; café arábica em produção, 1.497.293 ha, e em formação, 276.833 ha; café conilon em produção, 432.852 ha, e em formação, 39.718 ha; cana-de-açúcar, 9.057.200 ha; canola, 42.800 ha; centeio, 1.800 ha; cevada, 103.000 ha; eucalipto, 4.800.000 ha (Bracelipa, 2015); feijão, 3.034.400 ha; girassol, 109.400 ha; mamona, 82.100 ha; milho, 15.743.700 ha; soja, 32.093.100 ha; sorgo, 722.600 ha; trigo, 2.470.600 ha; e triticale, 21.600 ha. Todas essas culturas totalizam uma área de 74.139.896 ha, e a área ocupada por pastagem é de 158.753.866 ha (Conab, 2012). Em termos de previsão para a produção de milho, espera-se algo em torno de 84,73 milhões de toneladas (produtividade média de grãos úmidos de 5.382 kg ha<sup>-1</sup>), sendo o Brasil o terceiro maior produtor e o segundo maior exportador mundial (Conab, 2015).

## ÁGUA CONSUMIDA E PRODUÇÃO

O índice referente ao “uso de água” ( $W_i$ ), expresso como sendo o inverso da “produtividade de água”, é um importante parâmetro para a quantificação de água consumida, para se obter uma unidade de produção de milho expressa pela equação 1:

$$W_i (L/kg) = \frac{\text{Quantidade de água consumida por unidade de área (L/ha)}}{\text{Quantidade de milho produzido por unidade de área (kg/ha)}} \quad (1)$$

Dependendo da forma como se quantifica a água consumida e a unidade do produto, diversos índices podem ser obtidos. Alguns deles estão apresentados na Tabela 1:  $W_{1 \text{ a } 6}$  baseados na massa de grãos secos,  $W_{7 \text{ a } 12'}$  na massa de grãos úmidos,  $W_{13 \text{ a } 18'}$  na massa de matéria seca total, e  $W_{19 \text{ a } 24'}$  na massa de matéria fresca total. A escolha de um destes índices depende dos dados disponíveis e da finalidade de seu emprego.

No cálculo dos índices  $W_i$ , o numerador é a quantidade de água consumida, por unidade de área, durante o ciclo da cultura (entre a semeadura e a colheita) para a produção de milho, sendo utilizadas as seguintes referências de uso: uso consuntivo (UC, L ha<sup>-1</sup>), evapotranspiração real (ETr, L ha<sup>-1</sup>), absorção de água (A, L ha<sup>-1</sup>), transpiração real (Tr, L ha<sup>-1</sup>),

água incorporada na massa de matéria seca ( $\beta$ , L ha<sup>-1</sup>) e água exportada por intermédio dos grãos úmidos de milho ( $\theta$ , L ha<sup>-1</sup>) (Tabela 1). Sendo assim, tem-se as equações de 2 a 10:

$$UC = A + E = ETr + \beta \quad (2)$$

$$ETr = E + Tr = 10^4 \cdot DC \cdot \bar{ET} \quad (3)$$

$$A = Tr + \beta \quad (4)$$

$$Tr = f_T \cdot ETr \quad (5)$$

$$\beta = \frac{f_H \cdot Md}{f_w} \quad (6)$$

$$\theta = \frac{f_H \cdot Pd}{f_w} + u_g \cdot Pw \quad (7)$$

$$Ps = Pw \cdot (1 - u_g) \quad (8)$$

TABELA 1 | USO DE ÁGUA ( $W_i$ , L kg<sup>-1</sup> OU mL kg<sup>-1</sup>)\*

QAC (L HA <sup>-1</sup> )	REFERÊNCIA DE PRODUTIVIDADE (KG HA <sup>-1</sup> )				UNIDADE
	Pd	Pw	Md	Mw	
UC	$W_1 = \frac{UC}{Pd}$	$W_7 = \frac{UC}{Pw}$	$W_{13} = \frac{UC}{Md}$	$W_{19} = \frac{UC}{Mw}$	L kg <sup>-1</sup>
ETr	$W_2 = \frac{ETr}{Pd}$	$W_8 = \frac{ETr}{Pw}$	$W_{14} = \frac{ETr}{Md}$	$W_{20} = \frac{ETr}{Mw}$	L kg <sup>-1</sup>
A	$W_3 = \frac{A}{Pd}$	$W_9 = \frac{A}{Pw}$	$W_{15} = \frac{A}{Md}$	$W_{21} = \frac{A}{Mw}$	L kg <sup>-1</sup>
Tr	$W_4 = \frac{Tr}{Pd}$	$W_{10} = \frac{Tr}{Pw}$	$W_{16} = \frac{Tr}{Md}$	$W_{22} = \frac{Tr}{Mw}$	L kg <sup>-1</sup>
$\beta$	$W_5 = \frac{10^3 \beta}{Pd}$	$W_{11} = \frac{10^3 \beta}{Pw}$	$W_{17} = \frac{10^3 \beta}{Md}$	$W_{23} = \frac{10^3 \beta}{Mw}$	mL kg <sup>-1</sup>
$\theta$	$W_6 = \frac{10^3 \theta}{Pd}$	$W_{12} = \frac{10^3 \theta}{Pw}$	$W_{18} = \frac{10^3 \theta}{Md}$	$W_{24} = \frac{10^3 \theta}{Mw}$	mL kg <sup>-1</sup>

\* Com base nas referências de quantidade de água consumida (QAC, L ha<sup>-1</sup>) [uso consuntivo (UC), evapotranspiração real (ETr), absorção de água pela planta (A), transpiração real (Tr), água incorporada na massa de matéria seca ( $\beta$ ) e água exportada ( $\theta$ ) durante o ciclo] e de quantidade de milho produzido (kg ha<sup>-1</sup>) [produtividade de grãos secos (Pd) e úmidos (Pw) e de massa de matéria seca (Md) e fresca (Mw)].

Fonte: Os autores.



$$Md = \frac{Ps}{IC} \quad (9)$$

$$Mw = \frac{Md}{(1 - u_p)} \quad (10),$$

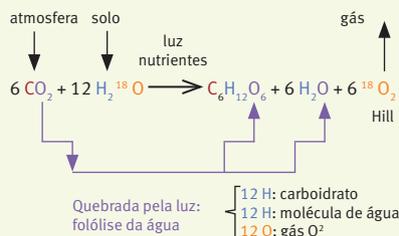
em que:  $\mathcal{E}$  refere-se à perda de água por evaporação pela área superficial do solo ( $L\ ha^{-1}$ );  $u_s$ , ao teor de água no grão ( $kg\ kg^{-1}$ );  $IC$ , ao índice de colheita ( $kg\ kg^{-1}$ );  $u_p$ , ao teor de água na planta ( $kg\ kg^{-1}$ );  $DC$ , à duração do ciclo ( $d$ );  $\overline{ET}$ , à evapotranspiração real diária média ( $mm\ d^{-1}$ ) durante o ciclo;  $f_w$ , à fração ( $2/18$ ) da massa de água que é hidrogênio, fator de conversão de hidrogênio em água;  $f_T$ , à fração ( $mm\ mm^{-1}$ ) da  $\overline{ETr}$ , que é  $Tr$ ; e  $f_H$ , ao teor de hidrogênio ( $kg\ kg^{-1}$ ) na  $Md$  e na  $Pd$ .

Ainda, no cálculo do índice  $W_p$ , o denominador é a quantidade produzida de milho por unidade de área, podendo ser utilizadas as seguintes referências de produtividade: produtividade de grãos secos ( $Pd$ ,  $kg\ ha^{-1}$ ) ou úmidos ( $Pw$ ,  $kg\ ha^{-1}$ ), ou massa de matéria seca ( $Md$ ,  $kg\ ha^{-1}$ ) ou fresca total, dada pela soma da massa de raiz e de parte aérea ( $Mw$ ,  $kg\ ha^{-1}$ ) (Tabela I).

### HIPÓTESES BÁSICAS

No processo fotossintético: (1) os átomos de carbono (C) e de oxigênio (O) da molécula produzida de carboidrato ( $CH_2O$ ) são

oriundos da molécula de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) da atmosfera, (2) os átomos de hidrogênio (H) da molécula produzida de carboidrato são oriundos da molécula de água ( $H_2O$ ) extraída do solo, e (3) os átomos de oxigênio da molécula de oxigênio ( $O_2$ ), que volta como gás para a atmosfera, são oriundos da molécula de água (Taiz & Zeiger, 2006):



Esta reação é endotérmica, requerendo energia que, na fotossíntese, é fornecida pela radiação solar, onde (1) seis átomos de carbono e seis átomos de oxigênio da molécula de carboidrato produzida são oriundos da quebra enzimática do dióxido de carbono da atmosfera pela Rubisco (ribulose 1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase); (2) doze átomos de hidrogênio da molécula de carboidrato produzida são oriundos da molécula de água extraída do solo e “quebrada” pela incidência da luz na superfície foliar, processo conhecido como fotólise da água; (3) os outros doze

átomos de hidrogênio com seis átomos de oxigênio vão compor seis moléculas de água; e (4) os doze átomos de oxigênio da molécula de oxigênio ( $O_2$ ), que voltam como gás para a atmosfera, são oriundos da molécula de água: reação provada por Robin Hill nos anos 60 utilizando oxigênio marcado ( $^{18}O$ ).

Foram utilizados os seguintes teores médios referentes à composição da massa de matéria seca da planta de milho: carbono (C – 0,45  $kg\ kg^{-1}$ ), oxigênio (O – 0,45  $kg\ kg^{-1}$ ), hidrogênio (H – 0,06  $kg\ kg^{-1}$ ), nitrogênio (N – 0,015  $kg\ kg^{-1}$ ), potássio (K – 0,01  $kg\ kg^{-1}$ ), cálcio (Ca – 0,005  $kg\ kg^{-1}$ ), fósforo (P – 0,002  $kg\ kg^{-1}$ ), magnésio (Mg – 0,002  $kg\ kg^{-1}$ ), enxofre (S – 0,001  $kg\ kg^{-1}$ ), cloro (Cl – 100  $mg\ kg^{-1}$ ), ferro (Fe – 100  $mg\ kg^{-1}$ ), boro (B – 20  $mg\ kg^{-1}$ ), manganês (Mn – 50  $mg\ kg^{-1}$ ), zinco (Zn – 20  $mg\ kg^{-1}$ ), cobre (Cu – 6  $mg\ kg^{-1}$ ), níquel (Ni – 0,1  $mg\ kg^{-1}$ ), molibdênio (Mo – 0,1  $mg\ kg^{-1}$ ) e outros (não essenciais, como silício – Si, sódio – Na, e cobalto – Co) (4,7  $g\ kg^{-1}$ ) (Epstein, 1965).

### EXEMPLO ILUSTRATIVO

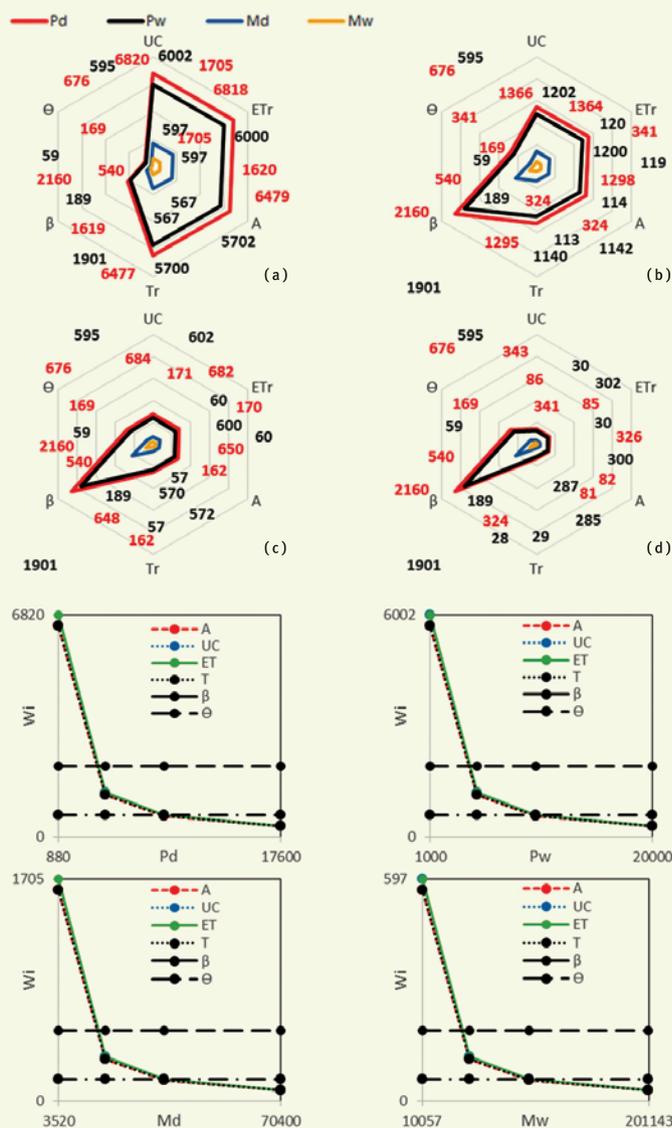
Para uma cultura hipotética de milho, a evapotranspiração real diária média foi de 5  $mm\ dia^{-1}$ , resultando numa  $\overline{ETr}$  de 6.000.000  $L\ ha^{-1}$  (600  $mm$ ), ao longo do ciclo de 120 dias. A produtividade de grãos



úmidos foi de 1.000 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 1a), 5.000 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 2, Figura 1b), 10.000 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 1c) e 20.000 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 1d).

Nos quatro cenários simulados (Figura 1), verifica-se que a ordem de grandeza dos valores do índice de uso de água foi a mesma de quando foram utilizadas as seguintes referências de uso: UC, ETr, A e Tr. Portanto, sugere-se a adoção da ETr como base de cálculo, em virtude da maior facilidade da obtenção e disponibilidade de dados. Esse índice tem a finalidade de avaliar a eficiência do uso da água em agricultura irrigada,

FIGURA 1 | USO DE ÁGUA (W<sub>u</sub>) (L kg<sup>-1</sup> OU mL kg<sup>-1</sup>)\*



\*Com base nas referências de quantidade de água consumida (L ha<sup>-1</sup>) [uso consuntivo (UC), evapotranspiração real (ETr), absorção (A), transpiração real (Tr), água incorporada na matéria seca (beta) e água exportada (theta) durante o ciclo] e de quantidade de milho produzido (kg ha<sup>-1</sup>) [produtividade de grãos secos (Pd) e úmidos (Pw) e de massa de matéria seca (Md) e fresca (Mw)] de uma cultura de milho com produtividade de grãos úmidos de 1.000 (a), 5.000 (b), 10.000 (c) e 20.000 (d) kg ha<sup>-1</sup> (Pw).

Fonte: Os autores.

TABELA 2 | USO DE ÁGUA ( $W$ ) (L KG<sup>-1</sup> OU ML KG<sup>-1</sup>)\*

QAC (L ha <sup>-1</sup> )	REFERÊNCIA DE PRODUTIVIDADE (kg ha <sup>-1</sup> )			
	Pd = 880	Pw = 1.000	Md = 3.520	Mw = 10.057
UC = 6.001.901	6.820 L kg <sup>-1</sup>	6.002 L kg <sup>-1</sup>	1.705 L kg <sup>-1</sup>	597 L kg <sup>-1</sup>
ETr = 6.000.000	6.818 L kg <sup>-1</sup>	6.000 L kg <sup>-1</sup>	1.705 L kg <sup>-1</sup>	597 L kg <sup>-1</sup>
A = 5.701.901	6.479 L kg <sup>-1</sup>	5.702 L kg <sup>-1</sup>	1.620 L kg <sup>-1</sup>	567 L kg <sup>-1</sup>
Tr = 5.700.000	6.477 L kg <sup>-1</sup>	5.700 L kg <sup>-1</sup>	1.619 L kg <sup>-1</sup>	567 L kg <sup>-1</sup>
β = 1.901	2.160 mL kg <sup>-1</sup>	1.901 mL kg <sup>-1</sup>	540 mL kg <sup>-1</sup>	189 mL kg <sup>-1</sup>
θ = 595	676 mL kg <sup>-1</sup>	595 mL kg <sup>-1</sup>	169 mL kg <sup>-1</sup>	59 mL kg <sup>-1</sup>
<b>QAC (L ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Pd = 4.400</b>	<b>Pw = 5.000</b>	<b>Md = 17.600</b>	<b>Mw = 50.286</b>
UC = 6.009.504	1.366 L kg <sup>-1</sup>	1.202 L kg <sup>-1</sup>	341 L kg <sup>-1</sup>	120 L kg <sup>-1</sup>
ETr = 6.000.000	1.364 L kg <sup>-1</sup>	1.200 L kg <sup>-1</sup>	341 L kg <sup>-1</sup>	119 L kg <sup>-1</sup>
A = 5.709.504	1.298 L kg <sup>-1</sup>	1.142 L kg <sup>-1</sup>	324 L kg <sup>-1</sup>	114 L kg <sup>-1</sup>
Tr = 5.700.000	1.295 L kg <sup>-1</sup>	1.140 L kg <sup>-1</sup>	324 L kg <sup>-1</sup>	113 L kg <sup>-1</sup>
β = 9.504	2.160 mL kg <sup>-1</sup>	1.901 mL kg <sup>-1</sup>	540 mL kg <sup>-1</sup>	189 mL kg <sup>-1</sup>
θ = 2.976	676 mL kg <sup>-1</sup>	595 mL kg <sup>-1</sup>	169 mL kg <sup>-1</sup>	59 mL kg <sup>-1</sup>
<b>QAC (L ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Pd = 8.800</b>	<b>Pw = 10.000</b>	<b>Md = 35.200</b>	<b>Mw = 100.571</b>
UC = 6.019.008	684 L kg <sup>-1</sup>	602 L kg <sup>-1</sup>	171 L kg <sup>-1</sup>	60 L kg <sup>-1</sup>
ETr = 6.000.000	682 L kg <sup>-1</sup>	600 L kg <sup>-1</sup>	170 L kg <sup>-1</sup>	60 L kg <sup>-1</sup>
A = 5.719.008	650 L kg <sup>-1</sup>	572 L kg <sup>-1</sup>	162 L kg <sup>-1</sup>	57 L kg <sup>-1</sup>
Tr = 5.700.000	648 L kg <sup>-1</sup>	570 L kg <sup>-1</sup>	162 L kg <sup>-1</sup>	57 L kg <sup>-1</sup>
β = 19.008	2.160 mL kg <sup>-1</sup>	1.901 mL kg <sup>-1</sup>	540 mL kg <sup>-1</sup>	189 mL kg <sup>-1</sup>
θ = 5.952	676 mL kg <sup>-1</sup>	595 mL kg <sup>-1</sup>	169 mL kg <sup>-1</sup>	59 mL kg <sup>-1</sup>
<b>QAC (L ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Pd=17.600</b>	<b>Pw=20.000</b>	<b>Md=70.400</b>	<b>Mw=201.143</b>
UC = 6.038.016	343 L kg <sup>-1</sup>	302 L kg <sup>-1</sup>	86 L kg <sup>-1</sup>	30 L kg <sup>-1</sup>
ETr = 6.000.000	341 L kg <sup>-1</sup>	300 L kg <sup>-1</sup>	85 L kg <sup>-1</sup>	30 L kg <sup>-1</sup>
A = 5.738.016	326 L kg <sup>-1</sup>	287 L kg <sup>-1</sup>	82 L kg <sup>-1</sup>	29 L kg <sup>-1</sup>
Tr = 5.700.000	324 L kg <sup>-1</sup>	285 L kg <sup>-1</sup>	81 L kg <sup>-1</sup>	28 L kg <sup>-1</sup>
β = 38.016	2.160 mL kg <sup>-1</sup>	1.901 mL kg <sup>-1</sup>	540 mL kg <sup>-1</sup>	189 mL kg <sup>-1</sup>
θ = 11.904	676 mL kg <sup>-1</sup>	595 mL kg <sup>-1</sup>	169 mL kg <sup>-1</sup>	59 mL kg <sup>-1</sup>

\*  $u_g = 0,12 \text{ kg kg}^{-1}$ ;  $u_p = 0,65 \text{ kg kg}^{-1}$ ;  $IC = 0,25 \text{ kg kg}^{-1}$ ;  $t_r = 0,05 \text{ mm.mm}^{-1}$ ;  $t_H = 0,06 \text{ kg kg}^{-1}$ ;  $DC = 120 \text{ d}$ ;  $e_T = 5 \text{ mm.d}^{-1}$ .

Obs.: Com base nas referências de quantidade de água consumida (QAC, L ha<sup>-1</sup>) [uso consuntivo (UC), evapotranspiração real (ETr), absorção (A), transpiração real (Tr), água incorporada na matéria seca (β) e água exportada (θ) durante o ciclo] e de quantidade de milho produzido (kg ha<sup>-1</sup>) [produtividade de grãos secos (Pd) e úmidos (Pw) e de massa de matéria seca (Md) e fresca (Mw)] para produtividades de grãos úmidos (Pw) de 1.000, 5.000, 10.000 e 20.000 kg ha<sup>-1</sup>.

Fonte: Os autores.

em função da outorga, do sistema de produção, dos critérios de manejo da irrigação, da disponibilidade da água à sociedade e, principalmente, da demanda climática do ambiente de produção.

A linha pontilhada separa os índices (UC, ETr, A e Tr) da ordem de L kg<sup>-1</sup> dos índices (β e θ) da ordem de mL kg<sup>-1</sup>. A água incorporada na matéria seca (β) e a água exportada (θ) durante o ciclo independem da produtividade (Pd, Pw, Md ou Mw) (Figura 1). Esse índice tem a finalidade de avaliar a eficiência do uso da água pela espécie *Zea mays* L.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os valores do uso de água diminuem à medida que ocorre o aumento das referências de produtividade [produtividade de grãos secos (Pd) e úmidos (Pw) e de massa de matéria seca (Md) e fresca (Mw) (Figura 1)], quando se utiliza uso consuntivo (UC), evapotranspiração real (ETr), absorção (A) e transpiração real (Tr) como referências de uso. Os valores do uso de água permanecem constantes com o aumento da Pd, Pw, Md e Mw (Figura 1), quando se utiliza água incorporada na massa de matéria seca (β) e na água exportada (θ) como referência de uso. Observa-se que a ampla variação entre o menor valor (59 mL kg<sup>-1</sup>,  $W_{24}$ ) e o maior valor (6.820 L kg<sup>-1</sup>,  $W_1$ ) do uso de água (Tabela 2) foi resultado da faixa de produtividade adotada e dos parâmetros considerados. A grande diferença evidencia a importância de se mencionar como o uso de água é calculado, bem como definir com que propósito é apresentado. 

FIGURA 2 | RESUMO GERAL REFERENTE AO EXEMPLO NUMÉRICO ILUSTRATIVO\*

		UC			IC: 0,25 kg kg <sup>-1</sup>
E	Tr	ETr			u <sub>g</sub> : 0,12 kg kg <sup>-1</sup>
	β		θ	u <sub>p</sub> : 0,65 kg kg <sup>-1</sup>	
		A			
Pw: 1.000 kg ha <sup>-1</sup> Pd: 880 kg ha <sup>-1</sup> Md: 3.520 kg ha <sup>-1</sup> Mw: 10.057 kg ha <sup>-1</sup>			Pw: 5.000 kg ha <sup>-1</sup> Pd: 4.400 kg ha <sup>-1</sup> Md: 17.600 kg ha <sup>-1</sup> Mw: 50.286 kg ha <sup>-1</sup>		
		6.001.901			6.009.504
300.000	5.700.000	6.000.000			300.000 5.700.000 6.000.000
		1.901	595		
		5.701.901			9.504 2.976
					5.709.504
Pw: 10.000 kg ha <sup>-1</sup> Pd: 8.800 kg ha <sup>-1</sup> Md: 35.200 kg ha <sup>-1</sup> Mw: 100.571 kg ha <sup>-1</sup>			Pw: 20.000 kg ha <sup>-1</sup> Pd: 17.6000 kg ha <sup>-1</sup> Md: 70.400 kg ha <sup>-1</sup> Mw: 201.143 kg ha <sup>-1</sup>		
		6.019.008			6.038.016
300.000	5.700.000	6.000.000			300.000 5.700.000 6.000.000
		19.008	5.952		
		5.719.008			38.016 11.904
					5.738.016

\*Uso consuntivo (UC, L ha<sup>-1</sup>), evapotranspiração real (ETr, L ha<sup>-1</sup>), absorção (A, L ha<sup>-1</sup>), transpiração real (Tr, L ha<sup>-1</sup>), água incorporada na matéria seca (β, L ha<sup>-1</sup>) e água exportada (θ, L ha<sup>-1</sup>) durante o ciclo correspondentes às produtividades de grãos úmidos (Pw) de milho de 1.000, 5.000, 10.000 e 20.000 kg ha<sup>-1</sup> (u<sub>g</sub> e u<sub>p</sub>: teor de água no grão e na planta; Pd: produtividade de grãos secos; Md e Mw: massa de matéria seca e fresca; IC: índice de colheita).

Fonte: Os autores.

\* **Durval Dourado Neto** é professor do Departamento de Produção Vegetal da USP/ESALQ (ddourado@usp.br), **Klaus Reichardt** é professor sênior do Laboratório de Física do Solo da USP/Cena (klaus@cena.usp.br), **Quirijn de Jong van Lier** é professor do Laboratório de Física do Solo da USP/Cena (qjulier@usp.br), **Luiz Gustavo Nussio** é professor do Departamento de Zootecnia da USP/ESALQ (nussio@usp.br) e **Ricardo Ferraz de Oliveira** é professor do Departamento de Ciências Biológicas da USP/ESALQ (rfjo@usp.br).

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. *Eucalipto*. São Paulo: Bracelpa, 2015. Disponível em: <http://bracelpa.org.br/bra2/?q=node/136>. Acesso em: 11 nov. 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Acompanhamento de safra brasileira: primeiro levantamento, Safra 2013/2014*. Brasília: Conab, 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t>. Acesso em: 11 nov. 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Séries históricas de área plantada, produtividade e produção*. Brasília: Conab, 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t>. Acesso em: 11 nov. 2015.

EPSTEIN, E. Mineral metabolism. In: BONNER, J.; VARBER, J. E. (Ed.). *Plant biochemistry*. London: Academic Press, 1965. p. 438-466.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 2006.



FOTOGRAFIA: PAULO ZANNONI