

RELAÇÃO HÍDRICA E TEOR DE CLOROFILA EM DOIS CULTIVARES DE ARROZ SUBMETIDO À DEFICIÊNCIA HÍDRICA E ADUBAÇÃO SILICATADA.

ADRIANA LIMA MORO¹; FERNANDO BROETTO² E EDEMAR MORO¹

¹Departamento de Ciências Agrárias - Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE/Presidente Prudente (SP), adrianamor@unoeste.br; edemar@unoeste.br

²Departamento de Química e Bioquímica – Instituto de Biociências – UNESP/Botucatu (SP).
broetto@ibb.unesp.br

1 RESUMO

Plantas submetidas a deficiência hídrica comprometem os processos fisiológicos e a capacidade de produção. O silício é um nutriente que pode proporcionar melhor desenvolvimento às plantas de arroz cultivadas em ambientes com deficiência hídrica. Este elemento diminui as perdas de água por transpiração, melhorando assim as funções fisiológicas da planta. O objetivo deste trabalho foi estudar a relação entre deficiência hídrica e o efeito do silício em dois cultivares de arroz (Curinga e IAC 202) sob pigmentos, conteúdo relativo de água (CRA), transpiração e matéria seca. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 2, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por quatro potenciais mátricos de água no solo (-10, -30, -50 e -70 kPa) combinadas com dois corretivos da acidez do solo (calcário dolomítico e silicato de cálcio e magnésio). Houve aumento do conteúdo de clorofila *a* com a adição de silício no cultivar Curinga na fase de florescimento. O CRA para ambos os cultivares e em todas as fases fenológicas avaliadas apresentaram aumento com a aplicação de silício. A taxa de transpiração (*E*) foi menor em ambos os cultivares a partir da fase de emborrachamento nas maiores tensões -50 e -70 kPa. Houve incremento da matéria seca com a aplicação de silício para ambos os cultivares na fase de enchimento de grãos, mesmo com a intensidade da deficiência hídrica.

Palavras chave: Conteúdo relativo de água, potenciais, transpiração.

MORO, A. L.; BROETTO, F.; MORO, E.

WATER RELATIONSHIP AND CHLOROPHYLL CONTENT IN TWO RICE CULTIVARS UNDER WATER STRESS AND SILICON FERTILIZATION

2 ABSTRACT

Plants under water stress jeopardize physiological processes and production capacity. Silicon is a nutrient which provides better growth to rice plants grown in an environment under water stress. This element reduces losses of water by transpiration, improving the physiological functions of the plant. The objective of this study was to evaluate the relationship between water stress and the silicon effect on two rice cultivars under pigments, to determine relative water content (RWC), transpiration and dry matter. A completely randomized and factorial (4x2) design was used with four replicates. Treatments consisted

of four matric potential of water in the soil water (-10, -30, -50 and -70 kPa) in association with two amendments for soil acidity (lime and magnesium and calcium silicate). An increase was observed in the content of chlorophyll *a* by the addition of silicon to cv. Curinga during the flowering stage. An increase in the RWC for both cultivars and in all phenological phases was observed after silicon addition. Transpiration rate was lower in both cultivars as of the booting stage at the higher tensions of -50 and -70kPa. An increase in dry matter for both cultivars after silicon addition was observed during the grain filling stage even considering the intensity of water stress.

Keywords: relative water content, potential, transpiration.

3 INTRODUÇÃO

O arroz é uma espécie hidrófila, cujo processo evolutivo tem levado a sua adaptação às mais variadas condições ambientais (GUIMARÃES et al., 2006). Pinheiro (2006) relata que as cultivares de tipo de planta tradicional, apesar de mais tolerante à seca, não se beneficiam de boas condições hídricas e de fertilidade do solo, pois um crescimento ótimo implica em mau aproveitamento da luz e do nitrogênio, devido ao acamamento. Dessa forma, qualquer prática agrícola que melhore a eficiência no aproveitamento da água é desejável.

A deficiência hídrica é a principal responsável pela baixa produtividade e instabilidade de produção do arroz de sequeiro. Os períodos de estiagem são caracterizados pela alta demanda evaporativa do ar, altos níveis de radiação solar e temperaturas elevadas (STEINMETZ; MEIRELES, 1999), podendo até causar a perda total da lavoura (CRUSCIOL et al., 2003).

O arroz apresenta alta exigência de água e sistema radicular superficial, sendo, portanto, pouco tolerante a períodos longos de deficiência hídrica (WREGER, et al., 2001). Torna-se fundamental, assim, estudar espacial e temporalmente os riscos de deficiência hídrica e temperaturas críticas, a fim de definir períodos de semeadura mais adequados para o cultivo do arroz de sequeiro. Estudos realizados por Anjum et al. (2003) indicaram que o estresse hídrico afeta os pigmentos e componentes fotossintéticos.

De acordo com Sousa (2008), a tolerância da planta a deficiência hídrica parece ser um importante mecanismo de resistência para a manutenção do processo produtivo em condições de baixa disponibilidade de água às plantas.

A presença do silício (Si) no tecido vegetal tem resultado em benefícios aos vegetais, especialmente quando estes são submetidos a algum tipo de estresse, seja ele de caráter biótico ou abiótico. Na cultura do arroz são inúmeros os benefícios com a nutrição do arroz (SANTOS, 2008), o silício é o elemento absorvido com maior eficiência (MARTINS, 2010) sendo que quantidade acumulada de SiO₂ é seis vezes maior que a de potássio, dez vezes maior que a de nitrogênio, vinte vezes maior que a de fósforo (P₂O₅) e trinta vezes maior que a de cálcio (TAKAHASHI, 1995).

O elemento é imóvel na planta, sendo depositado nas lâminas foliares, bainhas foliares, colmos, cascas e raízes, sendo que na lâmina foliar o acúmulo é maior que na bainha foliar. Entretanto, a casca do arroz é o órgão que mais acumula silício na planta, seguido pela folha bandeira e panícula (MENDES; SOUZA; MACHADO, 2011).

O silício é um elemento que tem despertado bastante interesse entre técnicos e agricultores, pelos inúmeros benefícios que traz às culturas, aumentos na produtividade e na resistência a estresses bióticos e abióticos, tais como excesso de metais pesados, deficiência

hídrica e doenças fúngicas (TONIN, 2005). Segundo Agarie et al. (1998), o silício está associado à prevenção do progresso da senescência foliar, devido à manutenção da fotossíntese e proteção da destruição de clorofila, principalmente em condições de altas temperaturas e baixa umidade aumentando assim a área foliar exposta a luz solar (CRUSCIOL et al., 2009). Tokura et al. (2007), com aplicação de silício em diferentes solos em arroz de sequeiro, verificou que a matéria seca da parte aérea foi incrementada com a adição de silício. De acordo com Leite (2004) há muito tempo sabe-se que a falta de Si na solução do solo limita o crescimento normal da cultura do arroz.

Alterações no CRA (conteúdo relativo de água) são consideradas como um indicador das condições hídricas da planta, que corresponde à quantidade de água no tecido, num dado instante, comparada com a máxima quantidade de água que ele poderá reter (ANGELOCCI, 2002).

Nesse contexto foi conduzido um estudo para avaliar o efeito do silício nos parâmetros fisiológicos e matéria seca em dois cultivares de arroz submetido a diferentes níveis de deficiência hídrica.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em ambiente protegido (estufa tipo túnel), com dimensões de 30 m de comprimento, 7,0 m de largura e laterais de 2,0 m de altura, com cobertura de filme polietileno aditivado transparente, de 150 µm de espessura, e laterais de tela sombrite, posicionada no sentido Norte/Sul perpendicular à trajetória do sol. No interior da mesma, foram construídas quatro bancadas de madeira, com dimensões de 30cm de altura em relação ao solo, para distribuição dos vasos evitando contato dos mesmos com o solo. A pesquisa foi desenvolvida nos Departamentos de Engenharia Rural e Produção Vegetal da Faculdade de Ciência Agrônômica de Botucatu FCA/UNESP e no Departamento de Química e Bioquímica do Instituto de Biociências de Botucatu IB/UNESP. Foram utilizados dois cultivares de arroz: o Curinga e o IAC 202. O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 1997), coletado na Fazenda Experimental Lageado.

O delineamento experimental foi em blocos casualizado em esquema fatorial 4 x 2, com 4 repetições, no total de 4 blocos com 16 vasos, totalizando 64 vasos. Foram quatro as avaliações, realizadas durante os ciclos fenológico da planta (perfilhamento, emborrachamento, florescimento e enchimento de grãos). Os tratamentos foram constituídos por quatro tensões de água no solo (-10, -30, -50 e -70 kPa) combinadas com duas formas de correção da saturação do solo com duas doses de adubação (ausência e presença de silício). Os corretivos utilizados foram calcário dolomítico e silicato de cálcio e magnésio, em vasos contendo 17 kg de solo.

A caracterização química do solo (Tabela 1) foi realizada com o objetivo de estabelecer a quantidade de corretivo para elevação da saturação por bases a 50%, que é a saturação recomendada para a cultura do arroz (CANTARELLA; RAIJ; CAMARGO, 1997) e ao mesmo tempo para constituição dos tratamentos com ausência e presença de Si.

Após a caracterização química do solo, foi adicionado ao solo em lotes separado o calcário dolomítico e silicato de cálcio e magnésio. Após a aplicação dos corretivos e fertilizantes o solo foi incubado durante 30 dias, com umidade na capacidade máxima de retenção de água. Após a incubação, foi realizada novamente a caracterização química do solo (Tabela 1) de acordo com a metodologia proposta por Raij et al. (2001).

Tabela 1. Atributos químicos do solo antes (inicial) e após a incubação com calcário e silicato de cálcio e magnésio.

Corretivos de acidez	Si g dm ⁻³	pH	M.O.	P (resina)	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
		CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----	mmol _c dm ⁻³	-----	%			
Inicial		4,0	14	7	73	0,4	5	2	7,4	80	34
Calcário	6	4,6	16	44	51	3,5	34	11	48	99	49
Silicato	8	4,6	20	50	52	3,4	27	19	49	101	49

*Si: silício, pH: potencial de hidrogênio, M.O.: matéria orgânica, P: fósforo, H: hidrogênio, Al: alumínio, K: potássio, Ca: cálcio, Mg: magnésio, SB: soma de base, CTC: capacidade de troca catiônica, V: saturação de base.

Os tratamentos com restrição hídrica foram iniciados aos 30 dias após a emergência e mantidos até a colheita. As lâminas de água utilizadas constaram de um tratamento controle (-10 kPa) e deficiência hídrica leve, moderada e severa, que corresponderam a -30, -50 e -70 kPa, respectivamente. Os volumes de água para cada potencial hídrico foram determinados pela curva da capacidade de retenção de água do solo, com amostra de solo deformada. A metodologia utilizada foi a de placas de pressão recomendada por Richards (1949) e Topp et al. (1993) conforme Tabela 2. A tensão de água no solo foi controlada mediante pesagem diária de todos os vasos, para o cálculo do volume de reposição da água evapotranspirada.

Tabela 2. Relações entre teores de água e potenciais de água do solo (base massa seca) utilizados no experimento.

	Potencial hídrico solo (Kpa)						
	Saturado	-10	-30	-50	-70	-100	-150
Teor de água %	24	15	13	12	11	10,3	8,3

Para as análises de extração de pigmentos (clorofila *a* e *b*), foram utilizados discos foliares frescos com 1,04 cm² de diâmetro os quais foram mantidos em tubos de ensaio contendo 1 mL de dimetil formamida (DMF) por 24 h no escuro, seguindo-se a metodologia de Lee, Bremmeier e Smith (1987).

O conteúdo relativo de água (CRA) foi determinado pesando-se dois discos foliares (0,69 cm² cada) e determinou-se a massa de matéria fresca dos mesmos (Wf). A massa do tecido túrgido (Wt) foi obtida após a hidratação dos discos por 24 h em água deionizada. Após este tempo, retirou-se o excesso de água com lenço de papel dos discos túrgidos para determinar a massa do tecido túrgido. A massa do tecido seco (Wd) foi obtida depois que os discos foram secos por 48 h a 80°C em estufa de circulação de ar forçada. CRA foi calculado por intermédio de fórmula, conforme a metodologia apresentada por Jamaux, Steinmetz e Belhassen (1997):

$$CRA = [(Wf - Wd) \cdot (Wt - Wd)^{-1}] \times 100$$

As taxas de transpiração foram realizadas com sistema aberto portátil de fotossíntese, com analisador de CO₂ e vapor d'água por radiação infra-vermelha ("Infra Red Gas Analyser - IRGA", LI-6400, LI-COR), sendo expressada por *E* (mol m⁻² s⁻¹).

Os dados foram submetidos à análise de variância. As médias dos tratamentos com e sem silício foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%, pelo programa SISVAR.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de Clorofila *a* do cultivar Curinga foi influenciado pelos corretivos apenas na fase de florescimento (terceira coleta). A cultivar IAC 202 não foi influenciada pelos corretivos utilizados. As tensões de água no solo proporcionaram efeito significativo em ambas as cultivares nas fases de florescimento e enchimento de grãos (Tabela 3). Na fase de perfilhamento o conteúdo de clorofila não foi alterado, visto que, foi nesta fase que a restrição hídrica foi iniciada. Na segunda coleta (emborrachamento), o tempo de exposição das plantas à restrição hídrica não foi suficiente para que houvesse alteração do conteúdo de clorofila *a* nas folhas.

Tabela 3. Análise da variância e coeficiente de variação para Clorofila *a* em folhas de arroz cultivar Curinga e IAC 202, em função do manejo de água e silício, em quatro épocas de avaliação.

Variáveis	Fase fenológica			
	Perfilhamento	Emborrachamento	Florescimento	Enchimento de grãos
	Curinga			
Corretivo¹	ns	ns	**	ns
kPa²	ns	ns	**	**
Corretivo*kPa	ns	ns	*	*
CV³	11	13	7	12
	IAC 202			
Corretivo¹	ns	ns	ns	ns
kPa²	ns	ns	**	**
Corretivo*kPa	ns	ns	ns	ns
CV³	8	15	12	18

¹Calcário e Silício; ²Tensão de água no solo; ³Coeficiente de variação; ns, ** e * = não significativo e significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

Com relação ao efeito do corretivo Si para o cultivar Curinga, somente houve diferença significativas quando as plantas foram submetidas a tensão de água no solo de -30 kPa, durante a fase de florescimento (Tabela 4). O teor de clorofila *a* do cultivar IAC 202 não foi influenciado pela aplicação de Si em nenhuma das quatro coletas de plantas (Tabela 5).

Quanto às épocas de coletas de plantas observaram-se maiores valores de clorofila *a* na primeira coleta, ou seja, na fase de perfilhamento com queda progressiva a cada coleta, de modo que na quarta coleta (enchimento de grãos) os valores foram em média 50% menores em relação a primeira coleta (Tabela 4 e 5).

Analisando os dois cultivares IAC 202 e Curinga, observa-se que mesmo não demonstrando diferença estatística houve um aumento variando entre 10 a 20% no conteúdo de clorofila *a* quando acrescidas de silício. Entre as gramíneas, o arroz possui grande capacidade de absorção de Si pelas suas raízes, o qual é translocado, acompanhando o fluxo de transpiração, acumulando-se na parte aérea (OLIVEIRA; KORNDORFER; PEREIRA, 2007).

Tabela 4. Teor de Clorofila *a* em folhas de arroz, cultivar Curinga, em função do manejo de água e silício, em quatro épocas de avaliação.

Variáveis	Tensão de água no solo (kPa)			
	-10	-30	-50	-70
	Perfilhamento			
Sem Silício ¹	18a	20a	20a	21a
Com Silício ²	21a	21a	22a	20a
	Emborrachamento			
Sem Silício ¹	10a	11a	11a	10a
Com Silício ²	11a	12a	12a	10a
	Florescimento			
Sem Silício ¹	12a	11b	14a	15a
Com Silício ²	12a	15a	16a	16a
	Enchimento de grãos			
Sem Silício ¹	9a	9a	14a	17a
Com Silício ²	9a	12a	14a	14a

Valores seguidos pela mesma letra nas colunas e em cada coleta, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 5. Teor de Clorofila *a* em folhas de arroz, cultivar IAC 202, em função do manejo de água e silício, em quatro épocas de avaliação.

Variáveis	Tensão de água no solo (kPa)			
	-10	-30	-50	-70
	Perfilhamento			
Sem Silício ¹	22a	21a	21a	23a
Com Silício ²	20a	21a	22a	22a
	Emborrachamento			
Sem Silício ¹	10a	11a	12a	13a
Com Silício ²	11a	12a	10a	10a
	Florescimento			
Sem Silício ¹	12a	12a	14a	14a
Com Silício ²	11a	13a	15a	14a
	Enchimento de grãos			
Sem Silício ¹	6a	9a	10a	14a
Com Silício ²	5a	10a	11a	13a

Valores seguidos pela mesma letra nas colunas e em cada coleta, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Os dados de clorofila *b* sofreram alterações pontuais em relação a análise variância segundo a Tabela 6, em ambos os cultivares. Assim como observado para clorofila *a* os maiores valores foram observados na primeira coleta, na fase de perfilhamento. A clorofila *a* tem papel fundamental no processo de bioconversão de energia. De acordo com Morais et al. (2007), as clorofilas *a* e *b* são interconvertidas no ciclo da clorofila e formam complexos de clorofila-proteína, que são importantes na regulação e organização do fotossistema.

Os teores de clorofila *a* foram maiores do que os da clorofila *b* em todas as coletas. A clorofila *a* é o pigmento utilizado para realizar a fase fotoquímica (o primeiro estágio do processo fotossintético), enquanto que os demais pigmentos auxiliam na absorção de luz e na transferência da energia radiante para os centros de reação, sendo assim chamados de

pigmentos acessórios, como é o caso da clorofila *b* (STREIT et al., 2005). Além disso, tanto para clorofila *a* quanto para clorofila *b* os valores foram maiores na fase de perfilhamento. Isto ocorreu em razão da primeira coleta ter sido realizada antes das plantas terem sido submetidas a deficiência hídrica.

Ambos os cultivares apresentaram semelhante degradação da clorofila *b* no decorrer das épocas de avaliações, assim como, não demonstraram diferença significativa com a aplicação de silício (Tabela 7 e 8). Segundo Pincelli (2010) a deficiência hídrica é um dos estresses ambientais responsáveis pela diminuição de pigmentos nas folhas, fazendo com que o ciclo de vida da planta seja alterado.

A diminuição no teor de clorofila *a* e *b*, além da deficiência hídrica imposta, o estágio de senescência pode ter influenciado essa queda. Segundo Marques (2009) o estresse pode promover redução na fotossíntese líquida. Este efeito é geralmente associado a uma limitada capacidade de síntese e maior degradação de clorofilas totais, clorofila *a* e clorofila *b*, indicando que sob estresse as plantas parecem necessitar de rotas alternativas de dissipação de energia a fim de evitar problemas de fotoinibição e fotoxidação.

Tabela 6. Análise da variância e coeficiente de variação para Clorofila *b* em folhas de arroz cultivar Curinga e IAC 202, em função do manejo de água e silício, em quatro épocas de avaliação.

Variáveis	Fase fenológica			
	Perfilhamento	Emborrachamento	Florescimento	Enchimento de grãos
	Curinga			
Corretivo¹	ns	ns	ns	ns
kPa²	ns	**	**	**
Corretivo*kPa	ns	**	*	*
CV³	18	19	10	16
	IAC 202			
Corretivo¹	ns	ns	ns	ns
kPa²	ns	**	**	**
Corretivo*kPa	**	ns	ns	ns
CV³	16	19	20	26

¹Calcário e Silício; ²Tensão de água no solo; ³Coeficiente de variação; ns e ** e * = não significativo e significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 7. Teor de Clorofila *b* em folhas de arroz, cultivar Curinga, em função do manejo de água e silício, em quatro épocas de avaliação.

Variáveis	Tensão de água no solo (kPa)			
	-10	-30	-50	-70
	Perfilhamento			
Sem Silício ¹	11a	11a	10a	9a
Com Silício ²	10a	10a	10a	12a
	Emborrachamento			
Sem Silício ¹	4a	6a	6a	8a
Com Silício ²	5a	6a	7a	7a
	Florescimento			
Sem Silício ¹	4a	4a	5a	6a
Com Silício ²	5a	6a	6a	6a
	Enchimento de grãos			
Sem Silício ¹	3a	3a	5a	6a
Com Silício ²	4a	4a	5a	5a

Valores seguidos pela mesma letra nas colunas e em cada coleta, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 8. Teor de Clorofila *b* em folhas de arroz, cultivar IAC 202, em função do manejo de água e silício, em quatro épocas de avaliação.

Variáveis	Tensão de água no solo (kPa)			
	-10	-30	-50	-70
	Perfilhamento			
Sem Silício ¹	9a	10a	14a	11a
Com Silício ²	10a	14a	10a	12a
	Emborrachamento			
Sem Silício ¹	5a	5a	6a	9a
Com Silício ²	5a	6a	6a	8a
	Florescimento			
Sem Silício ¹	4a	4a	5a	5a
Com Silício ²	4a	4a	6a	6a
	Enchimento de grãos			
Sem Silício ¹	3a	3a	4a	5a
Com Silício ²	2a	3a	4a	5a

Valores seguidos pela mesma letra nas colunas e em cada coleta, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

De acordo com a Tabela 9 da análise de variância o conteúdo relativo de água (CRA) nas folhas do arroz Curinga foi alterado pela presença do silício. Com relação a tensão de água no solo houve efeito significativo dos tratamentos nas fases de perfilhamento, emborrachamento e florescimento. Houve pouca variação do CRA com a aplicação dos corretivos de solo. De forma geral as tensões de água afetaram o CRA nas menores disponibilidades de água (-70 kPa).

Para o cultivar Curinga a aplicação de silício incrementou o CRA, nas fases vegetativas até o florescimento, como também nas diferentes tensões de água conforme a Tabela 10. Em relação ao IAC 202 o CRA foi influenciado pela presença e ausência de Si. As diferenças ocorreram na terceira (-70 kPa) e quarta coleta (-50 e -70 kPa), sendo que, com a presença de Si o CRA foi maior (Tabela 11). Os valores de CRA do tratamento sem Si foi

66% e com Si 77%. Na fase de enchimento de grãos as diferenças ocorreram a partir da tensão de água de -50 kPa. Com -50 kPa observou-se CRA de 62% na ausência de Si e 68% na presença. Quando a tensão de água no solo foi -70 kPa, o CRA do tratamento sem Si foi 54% e com Si 66% (Tabela 11).

Tabela 9. Análise da variância e coeficiente de variação para conteúdo relativo de água (CRA) em folhas de arroz cultivar Curinga e IAC 202, em função do manejo de água e silício, em quatro épocas de avaliação.

Variáveis	Fase fenológica			
	Perfilhamento	Emborrachamento	Florescimento	Enchimento de grãos
	Curinga			
Corretivo¹	*	**	**	ns
kPa²	**	**	**	*
Corretivo*kPa	**	**	*	ns
CV³	2	2	3	3
	IAC 202			
Corretivo¹	ns	ns	**	**
kPa²	**	**	**	**
Corretivo*kPa	**	**	**	**
CV³	3	4	4	4

¹Calcário e Silício; ²Tensão de água no solo; ³Coeficiente de variação; ns e ** e * = não significativo e significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

Oliveira e Castro (2002) relatam que o acúmulo de silício nos órgãos de transpiração provoca a formação de dupla camada de sílica, causando assim redução da transpiração por diminuir a abertura dos estômatos limitando assim a perda de água (FARIA, 2000). Na quarta coleta verificou-se que os tratamentos não influenciaram no CRA. Isto pode ter acontecido pelo tempo de exposição ao estresse hídrico e também pela mudança de fase fenológica da cultura (enchimento de grãos).

Tabela 10. Conteúdo relativo de água (CRA) em folhas de arroz, cultivar Curinga, em função do manejo de água e silício, em quatro épocas de avaliação.

Variáveis	Tensão de água no solo (kPa)			
	-10	-30	-50	-70
	Perfilhamento			
Sem Silício ¹	51b	55a	43b	61a
Com Silício ²	54a	50b	56a	48b
	Emborrachamento			
Sem Silício ¹	72a	66b	64b	62b
Com Silício ²	71a	78a	80a	68a
	Florescimento			
Sem Silício ¹	71b	80b	62b	74a
Com Silício ²	79a	84a	68a	77a
	Enchimento de grãos			
Sem Silício ¹	65a	65a	63a	63a
Com Silício ²	65a	65a	64a	62a

Valores seguidos pela mesma letra nas colunas e em cada coleta, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 11. Conteúdo relativo de água (CRA, %) em folhas de arroz, cultivar IAC 202, em função do manejo de água e silício, em quatro épocas de avaliação.

Variáveis	Tensão de água no solo (kPa)			
	-10	-30	-50	-70
	Perfilhamento			
Sem Silício	47a	54a	47a	47a
Com Silício	44a	46b	45b	49b
	Emborrachamento			
Sem Silício	70a	70a	67a	73a
Com Silício	69a	69a	68a	69a
	Florescimento			
Sem Silício	74a	76a	74a	66b
Com Silício	72a	74a	76a	77a
	Enchimento de grãos			
Sem Silício	70a	71a	62b	54b
Com Silício	73a	70a	68a	66a

Valores seguidos pela mesma letra nas colunas e em cada coleta, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

De maneira geral no cultivar Curinga, a deficiência hídrica e a aplicação de silício influenciaram de forma pontual na transpiração nas plantas de arroz (Tabela 12). Ao longo do período de exposição das plantas aos tratamentos foi possível observar mesmo sem existir diferença significativa entre os tratamentos, uma tendência de queda na transpiração. Essa queda na transpiração também é observada entre os tratamentos com maiores deficiência hídrica (-50 e -70 kPa). Padrão este relacionado ao acréscimo de CRA (Tabelas 10 e 11) nas mesmas condições, diminuindo a transpiração e aumentando o conteúdo de água na folha.

Para o cultivar Curinga na fase de emborrachamento e florescimento a partir da tensão a -50 kPa (Tabela 13), demonstrou diferença na aplicação de silício, este apresentando menor transpiração. Resultado semelhante foi observado no cultivar IAC 202, no qual a taxa de transpiração foi afetada durante a segunda e terceira coleta, com um estresse hídrico mais

severo -50kPa (Tabela 14). Analisando a Tabela 14 houve diferença estatística entre a interação com e sem silício no tratamento a -50 kPa, com valores de 8,5 e 11,2; 5,8 e 7,6 ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{S}^{-1}$) na segunda e terceira coleta respectivamente. Assim como no cultivar curinga (Tabela 11) esse parâmetro se repetiu com os valores de 6,5 e 5,6; 9,9 e 6,6 ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{S}^{-1}$).

Em ambientes com restrição hídrica, seja por problemas de falta de água no solo ou por altas demandas atmosféricas de água, a planta tende a fechar seus estômatos para economizar água, reduzindo as perdas por transpiração, o que pode limitar a entrada de CO_2 na folha para a fotossíntese (FLEXAS et al., 2009; PINHEIRO e CHAVES, 2011). Contudo, uma menor taxa transpiratória implica em menor perda de água para a atmosfera e uma economia de água por parte da planta.

Para evitar o dessecamento do vegetal, ocorre o fechamento estomático como forma de defesa. O fechamento estomático ocasiona redução do fluxo de H_2O para fora da folha do que no fluxo CO_2 que chega aos cloroplastos, reduzindo mais a taxa transpiratória que a taxa fotossintética (NOBEL, 1999).

Tabela 12. Análise da variância e coeficiente de variação para transpiração (E) ($\text{mol}^{-2} \text{s}^{-1}$) em folhas de arroz cultivar Curinga e IAC 202, em função do manejo de água e silício, em quatro épocas de avaliação.

Variáveis	Fase fenológica		
	Perfilhamento	Emborrachamento	Florescimento
		Curinga	
Corretivo ¹	ns	*	ns
kPa ²	ns	**	**
Corretivo*kPa	ns	ns	ns
CV ³	8	21	13
		IAC 202	
Corretivo ¹	ns	**	**
kPa ²	*	**	**
Corretivo*kPa	ns	ns	ns
CV ³	5	9	12

¹Calcário e Silício; ²Tensão de água no solo; ³Coeficiente de variação; ns: não significativo ** : significativo a 1% * : significativo a 5%

Tabela 13. Transpiração (E) ($\text{mol}^{-2} \text{s}^{-1}$) em folhas de arroz, cultivar Curinga, em função do manejo de água e silício, em quatro épocas de avaliação.

Variáveis	Tensão de água no solo (kPa)			
	-10	-30	-50	-70
	Perfilhamento			
Sem Silício	8,0a	8,9a	8,3a	8,5a
Com Silício	8,3a	8,5a	9,1a	9,0a
	Emborrachamento			
Sem Silício	10a	9,3a	9,9a	7,5a
Com Silício	10a	10,2a	6,5b	4,7b
	Florescimento			
Sem Silício	6,8a	7,6a	6,6a	4,5a
Com Silício	6,9a	6,7a	5,6b	4,9a

Valores seguidos pela mesma letra nas colunas e em cada coleta, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 14. Transpiração (E) ($\text{mol}^{-2} \text{s}^{-1}$) em folhas de arroz, cultivar IAC 202, em função do manejo de água e silício, em quatro épocas de avaliação.

Variáveis	Tensão de água no solo (kPa)			
	-10	-30	-50	-70
	Perfilhamento			
Sem Silício	8,0a	8,4a	8,1a	8,0a
Com Silício	8,3a	8,5a	8,8a	8,0a
	Emborrachamento			
Sem Silício	7,5a	6,9a	11,2a	9,4a
Com Silício	8,3a	8,2a	8,5b	9,9a
	Florescimento			
Sem Silício	4,8a	5,1a	7,6a	5,2a
Com Silício	5,0a	5,7a	5,8b	6,6a

Valores seguidos pela mesma letra nas colunas e em cada coleta, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

A análise dos dados da matéria seca de ambos os cultivares foi influenciada apenas pela tensão de água no solo (kPa) na fase de enchimento de grãos (Tabela 15). Para o cultivar Curinga observou-se que para a tensão de água no solo de -10 kPa a matéria seca da parte aérea foi de 57 g planta^{-1} com aplicação de calcário e 62 g planta^{-1} com aplicação de silício. Quando as plantas foram submetidas a -70 kPa a matéria seca foi 26 g planta^{-1} para o calcário e 31 g planta^{-1} para o silicato respectivamente (Tabela 16). Para o cultivar IAC 202 na fase de enchimento de grãos a produção de matéria seca com -10 kPa foi 45 g planta^{-1} com aplicação de calcário e 47 g planta^{-1} com aplicação de silício. Quando as plantas foram submetidas -70 kPa a matéria seca foi 26 g planta^{-1} para o calcário e 28 g planta^{-1} para o silicato respectivamente (Tabela 17).

De acordo com trabalho realizado por Oliveira e Valadão (1997), um período de deficiência hídrica moderada ocasionou decréscimo de 14,7% na matéria seca do arroz de sequeiro. A maior tensão de água no solo reduz a produção de matéria seca, afetada pela condição simulada de deficiência hídrica e variando de cultivar para cultivar.

Embora fossem instalados experimentos independentes para cada cultivar de arroz, observou-se que, em condição de baixa deficiência hídrica, o cultivar Curinga produziu maior quantidade de matéria seca em relação ao IAC 202. No entanto, esta diferença foi diminuída a medida que a restrição de água no solo foi maior. Na terceira coleta os valores de matéria seca tenderam a ser maiores quando o corretivo utilizado foi o silicato. Esse comportamento foi observado para os dois cultivares de arroz em todas as tensões de água no solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Faria Junior et al. (2009), estudando a produção de matéria seca em cultivares de arroz com aplicação de silício. Os autores observaram que o cultivar Curinga mostrou-se superior em relação ao outro cultivar avaliado.

Existem variações entre cultivares quanto à resistência a períodos com deficiência hídrica (HERNANDES et al., 2010). Os cultivares aqui estudados apresentaram variação em relação a tolerância à deficiência hídrica.

Tabela 15. Análise da variância e coeficiente de variação para matéria seca em folhas de arroz cultivar Curinga e IAC 202, em função do manejo de água e silício, em quatro épocas de avaliação.

Variáveis	Fase fenológica		
	Perfilhamento	Florescimento	Enchimento de grãos
	Curinga		
Corretivo¹	ns	ns	ns
kPa²	ns	ns	**
Corretivo*kPa	ns	ns	ns
CV³	15	13	11
	IAC 202		
Corretivo¹	ns	ns	ns
kPa²	ns	ns	**
Corretivo*kPa	ns	ns	ns
CV³	16	15	18

¹Calcário e Silício; ²Tensão de água no solo; ³Coefficiente de variação; ns e ** = não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 16. Matéria seca da planta (g/planta), cultivar Curinga, em função do manejo de água e silício, em quatro épocas de avaliação.

Variáveis	Tensão de água no solo (kPa)			
	-10	-30	-50	-70
	Perfilhamento			
Sem Silício	4,4a	4,0a	3,7a	3,9a
Com Silício	3,7a	3,8a	4,1a	4,1a
	Florescimento			
Sem Silício	26a	23a	24a	25a
Com Silício	29a	23a	24a	21a
	Enchimento de grãos			
Sem Silício	57a	35a	28a	26a
Com Silício	62a	40a	31a	31a

Valores seguidos pela mesma letra nas colunas e em cada coleta, não diferem entre si pelo teste Tukey (p < 0,05).

Tabela 17. Matéria seca da planta (g/planta), cultivar IAC 202, em função do manejo de água e silício, em quatro épocas de avaliação.

Variáveis	Tensão de água no solo (kPa)			
	-10	-30	-50	-70
	Perfilhamento			
Sem Silício	3,8a	3,4a	3,9a	3,3a
Com Silício	3,9a	3,8a	3,8a	3,7a
	Florescimento			
Sem Silício	32a	27a	23a	22a
Com Silício	24a	25a	25a	22a
	Enchimento de grãos			
Sem Silício	45a	43a	31a	26a
Com Silício	47a	46a	36a	28a

Valores seguidos pela mesma letra nas colunas e em cada coleta, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

6 CONCLUSÕES

Os teores de clorofila *a* e *b* diminuíram ao decorrer das épocas de coleta. O cultivar Curinga na fase de florescimento houve aumento do conteúdo de clorofila *a* com a adição de silício.

O conteúdo relativo de água (CRA) para ambos os cultivares e em todas as fases fenológicas avaliadas apresentaram aumento com a aplicação de silício.

A taxa de transpiração (*E*) foi menor em ambos os cultivares a partir da fase de emborrachamento nas maiores tensões -50 e -70 kPa.

A matéria seca apresentou tendência de aumento com a aplicação de silício para ambos os cultivares na fase de enchimento de grãos, mesmo com a intensidade da deficiência hídrica.

7 REFERÊNCIAS

AGARIE, S.; HANAOKA, N.; UENO, O.; MIYAZAKI, A.; KUBOTA, F.; AGATA, W.; KAUFMAN, P. B. Effects of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants (*Oryza sativa* L.), monitored by electrolyte leakage. **Plant Production Science**.v.1, p.96-103, 1998.

ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba: L. R. Angelocci, 2002. 272p.

ANJUM, F.; YASEEN, M.; RASOOL, E.; WAHID, A.; ANJUM, S. Water stress in barley (*Hordeum vulgare* L.). I. Effect on chemical composition and chlorophyll contents. **Pakistan Journal of Agricultural Science**, Faisalabad, v. 40, p. 45-49, 2003.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B.; CAMARGO, C.E.O. Cereais. In: RAIJ, B. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Campinas: IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico 100).

CRUSCIOL, C. A. C.; ARF, O.; SORATTO, R. P.; MACHADO, J. R. Influência de lâminas de água e adubação mineral na nutrição e produtividade de arroz de terras altas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 647-654, 2003.

CRUSCIOL, C. A. C.; PULZ, A. L.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; LIMA, G. P. P. Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. **Crop Science**, Madison, v. 49, n. 3, p. 949-954, 2009.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. p. 212. FARIA JÚNIOR, L. A.; CARVALHO, J. G.; PINHO, P. J.; BASTO, A. R. R.; FERREIRA, E. V. O. Produção de matéria seca, teor e acúmulo de silício em cultivares de arroz sob doses de silício. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1034-1040, 2009.

- FARIA, R. **Efeito da acumulação de silício e a tolerância das plantas de arroz do sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 125p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Departamento de Solos. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.
- FLEXAS, J.; BARON, M.; BOTA, J.; DUCRUET, J. M.; GALLE, A.; GALMES, J.; JIMÉNES, M.; POU, A.; CARBÓ, M. R.; SAJNANI, C.; TOMÁS, M.; MEDRANO, H. Photosynthesis limitations during water stress acclimation and recovery in the drought-adapted *Vitis* hybrid Richter-110 (*V. berlandieri* x *V. rupestris*). **Journal of Experimental Botany**. v.60: p.2362-2377, 2009.
- GUIMARÃES, C. M.; SANTOS, A. B.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de; STONE, L. F. Sistemas de cultivo. In.: SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F.; VIEIRA, N.R.A. **A Cultura do Arroz no Brasil**. Embrapa Arroz e Feijão, 2. Ed. rev. ampl. p 257-288. Santo Antônio de Goiás, 2006. 1000p.
- HERNANDES, A.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em cultivares de arroz. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 2, p. 307-312, mar./abr. Lavras, 2010.
- JAMAUX, I.; STEINMETZ, A.; BELHASSEN, E. Looking for molecular and physiological markers of osmotic adjustment in sunflower. **New Phytologist**, Oxford, v. 137, p. 117-127, 1997.
- LEE, D. W.; BREMMEIER, S.; SMITH, A. P. The selective advantage of anthocyanins in developing leaves of mango and cacao. **Biotropica**, v. 19, p. 40-49, 1987.
- LEITE, A. O ano do arroz. **Revista Atualidade Agrícola**. São Paulo, ago 2004. p. 6-7.
- MARQUES, D. J. **Estresse mineral induzido por fertilizantes potássicos em plantas de berinjela (*solanum melogena l.*) e seu efeito sobre parâmetros agrônômicos e metabólicos**. 2009. 168f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP. Botucatu. 2009.
- MARTINS, P. O. **Cinética de absorção de silício por cultivares de cana-de-açúcar e de arroz**. 2010. 79f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.
- MENDES, L.S.; SOUZA, C.H.E.; MACHADO, V.J. Adubação com silício: influência sobre o solo, planta, pragas e patógenos. **Cerrado Agrociências**. v. 2, p. 51-63, set. 2011.
- MORAIS, R.R.; GONÇALVES, J.F.C.; SANTOS JÚNIOR, U.M.; DUNISCH, O.; SANTOS, A.L.W. Chloroplastid pigment contents and chlorophyll a fluorescence in amazonian tropical three species. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p. 959-966, 2007.
- NOBEL, P.S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. Academic Press, New York, 1999.

OLIVEIRA, C.A.S.; VALADÃO, L.T. **Manejo da água do solo no cultivo da batata**. Brasília, Embrapa Hortaliças, 1997. 8p. (Comunicado Técnico, 3)

OLIVEIRA, L. A.; CASTRO, N. M. Ocorrência de sílica nas folhas de *Curatella americana* L. e de *Davilla elliptica* ST. Hil. **Journal of Horticultural Science**, v. 1: p.1-16, 2002.

OLIVEIRA, L. A.; KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, A. C. Acumulação de silício em arroz em diferentes condições de ph da rizosfera. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 685-690, 2007.

PINCELLI, R.P. **Tolerância à deficiência hídrica em cultivares de cana-de-açúcar avaliada por meio de variáveis morfofisiológicas**. 2010. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010. 78p.

PINHEIRO, B. S. Características morfológicas da planta relacionadas à produtividade. In: **A cultura do arroz no Brasil**. 2 ed. ver. Ampl. – Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 231-284.

PINHEIRO, C; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal Experimental Botany**. v.62: p.869-882, 2011.

RAIJ, B. ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.

RICHARDS, L.A. Methods of measuring moisture tension. **Soil Science**, v.68, p.95-112, 1949.

SANTOS, M. C. **Efeito de diferentes doses de silício, nitrogênio e potássio na incidência da traça-do-tomateiro, pinta-preta e produtividade do tomate industrial**. 2008. 86f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Universidade de Brasília. 2008.

SOUSA, E. B. M. **Indicadores físico-químicos para seleção de plantas de algodão herbáceo tolerantes à seca**. 2008. 94f. Dissertação (Mestrado em Botânica/Fisiologia Vegetal) Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Recife, 2008.

STEINMETZ, S.; MEIRELES, E.J.L. Clima. In: VIEIRA, N. R.A. **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. cap.3, p.58-87.

STREIT, N.M., CANTERLE, L.P., CANTO, M.W., HECKTHEUER, L.H.H. As clorofilas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.3, p. 748-755, 2005.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO, T. (Ed.). **Science of the rice plant: physiology**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, cap. 5, p. 420-433. 1995.

TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N. CARNEIRO, L. F.; ALOVISI, A. A. silício e fósforo em diferentes solos cultivados com arroz de sequeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 29, n. 1, p. 9-16, 2007.

TONIN, F.B. **Atividade de enzimas antioxidativas e absorção de silício em plantas de pimentão submetidas a estresse salino**. 2005. 104 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

TOPP, G.C.; GALGANOV, Y.T.; BALL, B.C.; CARTER, M.R. Soil water desorption curves. In: CARTER, M.R. (Ed). **Soil Sampling and Methods of analysis**. Florida: Lewis Publishers, 1993, p. 569-579.

WREGER, M.S.; CARAMORI, P. H.; GONÇALVES, S. L.; COLASANTE, L. O.; FUKOSHIMA, M. T.; ABUD, N. S. Determinação das melhores épocas de semeadura do arroz de sequeiro, *Oryza sativa*, no Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, v.23, n.5, p.1179-1183, 2001.