



## PERFORMANCE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE MILHO SUBMETIDAS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÁCIDO PROPIONICO

Elisa Souza Lemes<sup>1</sup>, Sandro de Oliveira<sup>1</sup>, André Oliveira de Mendonça<sup>1</sup>, Ednilson Henrique das Neves<sup>2</sup>, Lilian Madruga de Tunes<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes – UFPel/FAEM. Campus Universitário, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil (lemes.elisa@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>Graduando do curso de Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

<sup>3</sup>Dr<sup>a</sup> Professora do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

Recebido em: 30/09/2014 – Aprovado em: 15/11/2014 – Publicado em: 01/12/2014

### RESUMO

Alguns fatores podem limitar o crescimento e o desenvolvimento de plantas de milho, entre eles pode-se citar a presença de ácidos orgânicos, oriundos da metabolização do material orgânico incorporado. O conhecimento das concentrações tóxicas do ácido propiônico para a cultura do milho é importante, pois pode levar a determinação de quais práticas de solo devem ser realizadas para diminuir o seu efeito sobre as sementes. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho fisiológico de lotes de sementes de milho submetidos a estresse por diferentes concentrações de ácido propiônico. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 3 x 5, sendo três lotes (A, B, C) e cinco concentrações de ácido propiônico (0, 3, 6, 9 e 12 mM). Foram avaliados a primeira contagem da germinação, germinação, envelhecimento acelerado, teste de frio, comprimento da parte aérea e raiz. Conclui-se que o ácido propiônico causa redução na viabilidade e no vigor de sementes de milho. Concentrações a partir de 3 mM são prejudiciais ao desempenho fisiológico de lotes de sementes de milho.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ácidos orgânicos, germinação, vigor, *Zea mays*

### PHYSIOLOGICAL PERFORMANCE OF SEEDS OF CORN APPLIED DIFFERENT CONCENTRATIONS OF PROPIONIC ACID

#### ABSTRACT

Some factors may limit the growth and development of corn plants, among them we can mention the presence of organic acids derived from the metabolism of organic material incorporated. Knowledge of toxic concentrations of propionic acid to the corn crop is important because it may lead to a determination of what solo practices should be undertaken to reduce their effect on the seeds. Therefore, the goal of the study was to evaluate the physiological performance of seed lots of maize subjected to stress by different concentrations of propionic acid. Treatments were arranged in a factorial 3 x 5, three lots (A, B, C) and concentrations of propionic acid (0, 3, 6, 9 and 12 mM). We evaluated the first count of germination, germination, accelerated aging, cold test, length of shoot and root. We conclude that the propionic acid causes a

reduction in germination and vigor of maize seeds. Concentrations from 3 mM are harmful to the physiological performance of seed lots of maize.

**KEYWORDS:** Germination, organic acids, vigor, *Zea mays*

## INTRODUÇÃO

Alguns fatores podem limitar o crescimento e o desenvolvimento de plantas de milho, dentre eles pode-se citar a presença de ácidos orgânicos. A incorporação de resíduos culturais ao solo antes de nova semeadura pode exercer efeitos negativos, devido a liberação de produtos fitotóxicos oriundos da metabolização do material orgânico incorporado (CAMARGO et al., 2001) podendo ocasionar redução na germinação, crescimento inicial lento, menor crescimento radicular, menor absorção de nutrientes e rendimento de grãos insatisfatório (BORTOLON et al., 2009).

A metabolização do material orgânico no solo pode ocorrer sob condições aeróbicas e anaeróbicas. Em condições aeróbicas, as substâncias produzidas desaparecem rapidamente e os resíduos se transformam em material orgânico capaz de ser utilizado pelos microrganismos do solo. Porém, em condições anaeróbicas o oxigênio é deficiente e a síntese microbiana é impedida de degradar os resíduos, então o acúmulo produz ácidos orgânicos voláteis (PATRICK, 1971).

Dentre os principais compostos formados pelo metabolismo anaeróbico, destacam-se os ácidos orgânicos, especialmente os alifáticos de cadeia curta de baixo peso molecular, como os ácidos: acético, propiônico e butírico (ANGELES et al., 2006), que aparecem no solo na proporção de 6:3:1, respectivamente (BOHNEN et al., 2005). O efeito tóxico desses ácidos depende do tipo e da concentração (RAO e MIKKELSEN, 1977), que ocorrem usualmente, na faixa de concentração de 0,1 a 14mmol L<sup>-1</sup> (BOHNEN et al., 2005; KOPP et al., 2009; KOPP et al., 2010). De acordo com BORTOLON et al. (2009), a fitotoxicidade aumenta na seguinte ordem: ácido acético, propiônico e butírico, pois, quanto maior a cadeia carbônica, maior a fitotoxidez.

Vários autores têm realizado experimentos no sentido de explicar os efeitos desses ácidos sobre o crescimento de plântulas de trigo (NEVES et al., 2009), de arroz (KOPP et al., 2007; NEVES et al., 2010; TUNES et al., 2013a) e de aveia-branca (TUNES et al., 2013b; LEMES et al., 2014). No entanto, o efeito do ácido propiônico sobre a qualidade fisiológica de sementes de milho é pouco descrita.

O vigor e a viabilidade das sementes têm sido os parâmetros utilizados para observar a qualidade fisiológica, inclusive daquelas submetidas a estresse ambiental (NEVES et al., 2010). Logo, o conhecimento das concentrações tóxicas do ácido propiônico para a cultura do milho é importante, pois pode levar a determinação de quais práticas de solo devem ser realizadas para diminuir o seu efeito sobre as sementes.

Diante disso, o objetivo do trabalho consistiu em avaliar o desempenho fisiológico de lotes de sementes de milho, submetidos a estresse por diferentes concentrações de ácido propiônico.

## MATERIAL E MÉTODOS

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 3 x 5, sendo três lotes de sementes (A, B e C) e cinco concentrações de ácido propiônico

(0, 3, 6, 9 e 12 mM). Foram utilizados lotes comerciais de sementes de milho híbrido da cultivar Agrisure<sup>®</sup>, os quais apresentavam uma germinação inicial de 95%.

Os seguintes testes foram conduzidos.

**Germinação (G):** Foram utilizadas quatro amostras de 50 sementes. O substrato foi composto por três folhas de papel do tipo “germitest”, previamente umedecidas com as soluções de ácido propiônico na proporção de 2,5 vezes a massa de papel seco. Os rolos de papel foram acondicionados em germinador (25°C). A avaliação foi realizada após sete dias, conforme as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.

**Primeira contagem de germinação (PCG):** avaliada aos quatro dias após a instalação do teste de germinação, sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.

**Teste de frio (TF):** conduzido com quatro amostras de 50 sementes, distribuídas uniformemente em rolo de três folhas de papel tipo “germitest” umedecido, previamente, com a solução de ácido propiônico na proporção de 2,5 vezes a massa de papel seco. Em seguida, os rolos de papel foram colocados em sacos plásticos, os quais foram vedados e mantidos em câmara de BOD, regulada à temperatura de 10 °C ± 1 °C, durante sete dias. Após esse período, os rolos foram transferidos para germinador e mantidos nas mesmas condições do teste de germinação, sendo avaliada a porcentagem de plântulas normais após quatro dias (CÍCERO & VIEIRA, 1994).

**Teste de envelhecimento acelerado (EA):** As sementes foram distribuídas em camada única sobre uma tela metálica suspensa dentro de caixas gerbox, contendo 40 mL de água destilada. Posteriormente, as caixas foram tampadas e acomodadas em câmara BOD, a 41 °C por 96h (MARCOS FILHO, 1999). Após este período, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, com avaliação no quarto dia, sendo os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.

**Comprimento de parte aérea (CPA) e raiz (CR) de plântulas:** foram realizados a partir de quatro sub amostras de 20 sementes, distribuídas em duas linhas longitudinais e paralelas no terço superior da folha de papel de germinação tipo “germitest”, umedecido com 2,5 vezes a sua massa seca com a solução de ácido propiônico. Os rolos de papel foram acondicionados em germinador a 25°C. A leitura foi realizada aos quatro dias após a semeadura, com auxílio de régua graduada em milímetros, sendo medido o comprimento total e o comprimento da parte aérea de 10 plântulas normais escolhidas aleatoriamente. O comprimento de raiz foi determinado pela diferença entre o comprimento total e o comprimento da parte aérea. Os comprimentos médios da parte aérea e da raiz foram determinados somando-se as medidas de cada amostra e dividindo pelo número de plântulas avaliadas, conforme metodologia descrita por NAKAGAWA (1999).

Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F), e sendo significativa, realizou-se teste de Duncan para comparação de lotes e, para os dados de concentrações aplicou-se regressão polinomial, ambos a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação entre os fatores (lote x concentrações de ácido propiônico) ocorreu para as variáveis teste de frio, envelhecimento acelerado, comprimento de parte aérea e comprimento de raiz ( $p < 0,05$ ) (Tabela 1). As demais variáveis foram analisadas considerando-se as médias de cada fator.

**TABELA 1.** Quadro da análise de significância da variância para as variáveis primeira contagem da germinação (PCG), germinação (G), teste de frio (TF), envelhecimento acelerado (EA), comprimento de parte aérea (CPA) e comprimento de raiz (CR) de três lotes de sementes de milho (A, B e C) expostas a diferentes concentrações de ácido propiônico.

Tratamentos	PCG (%)	G (%)	TF (%)	EA (%)	CPA (cm)	CR (cm)
Lote	0,04*	0,0012*	0,0077*	8,27E-05*	0,00079*	0,07 <sup>NS</sup>
Concentração	1,06E-07*	1,86E-09*	0*	0*	0*	0*
Lote x Concentração	0,88 <sup>NS</sup>	0,06 <sup>NS</sup>	5,14E-10*	2,85E-05*	0,03*	0,0026*
C.V. (%)	6,63	2,48	5,76	10,95	6,92	10,85

\*Significativo ( $p < 0,05$ )

Os lotes A e B apresentaram desempenho germinativo superior ao lote C. Em trabalho realizado por TUNES et al. (2013b) com quatro cultivares de aveia e cinco concentrações do ácido propiônico (0, 3, 6, 9 e 12 mM), não foram constatadas diferenças entre as cultivares no teste de germinação (Tabela 2).

Em relação ao teste de frio, o lote A apresentou maior vigor em relação aos demais lotes na maior concentração do ácido propiônico (12 mM). Já para o envelhecimento acelerado observou-se que o lote C apresentou maior porcentagem de plântulas normais nas concentrações de 3 e 6 mM, não diferindo apenas do lote A na concentração de 6 mM. O teste de envelhecimento acelerado tem como princípio verificar o comportamento de um lote de sementes ao longo do armazenamento, devido ao aumento da taxa de deterioração da semente pela exposição em níveis elevados de temperatura e umidade relativa do ar. Já o teste de frio tem como princípio verificar o comportamento de um lote de sementes em baixa temperatura, caso seja antecipado a sua semeadura. Devido a isso, essa diferença de comportamento dos lotes em distintas situações de estresse, demonstra que dependendo do estresse, um lote pode apresentar melhor comportamento no armazenamento e o outro lote permite que se possa antecipar a semeadura sem prejudicar o seu vigor.

**TABELA 2.** Primeira contagem de germinação (PCG), germinação (G), teste de frio (TF) e envelhecimento acelerado (EA) de três lotes de sementes de milho (A, B e C) expostas a diferentes concentrações de ácido propiônico.

Ácido propiônico (mM)	PCG (%)			G (%)		
	A	B	C	A	B	C
0	89*	91	87	95	95	95
3	88	89	85	94	93	90
6	86	88	84	94	93	88
9	80	77	76	89	91	88
12	80	75	71	86	89	87
Média	84 a	84 a	80 b	92 a	92 a	90 b
C.V. (%)	6,6			2,5		
Ácido propiônico (mM)	TF (%)			EA (%)		
	A	B	C	A	B	C
0	84 a	86 a	86 a	76 a	77 a	78 a
3	90 a	89 a	84 a	74 ab	68 b	77 a
6	87 a	88 a	85 a	32 c	39 b	58 <sup>a</sup>

9	71 b	78 a	83 a	24 a	20 a	23 a
12	64 a	33 c	43 b	7 a	12 a	10 a
Média	79	75	76	42	43	49
C.V (%)	5,8			10,9		

\*Médias seguidas por mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

Na tabela 3, observou-se que o comprimento de parte aérea nas concentrações de 3 e 6 mM, os lotes não diferiram entre si. Já para o comprimento de raiz, os lotes não diferiram nas concentrações de 3, 9 e 12 mM. Semelhantemente, TUNES et al. (2013b) também verificaram diferenças na resposta entre diferentes materiais de aveia em relação ao comprimento de parte aérea e raiz quando submetidos a diferentes concentrações do ácido propiônico.

**TABELA 3.** Comprimento da parte aérea (CPA) e de raiz (CR) de três lotes de sementes de milho (A, B e C) expostas a diferentes concentrações de ácido propiônico.

Ácido propiônico (mM)	CPA (cm)			CR (cm)		
	A	B	C	A	B	C
0	7,16*a	6,69 ab	6,16 b	10,24 a	9,92 a	8,76 c
3	6,29 a	6,73 a	6,61 a	8,17 a	7,72 a	7,96 a
6	6,13 a	6,22 a	5,82 a	4,68 b	6,45 a	5,30 b
9	5,09 a	5,00 a	4,26 b	3,17 a	3,60 a	3,86 a
12	3,63 ab	4,17 a	3,59 b	2,00 a	2,05 a	1,60 a
Média	5,66	5,76	5,29	5,65	5,95	5,50
C.V (%)	6,9			10,8		

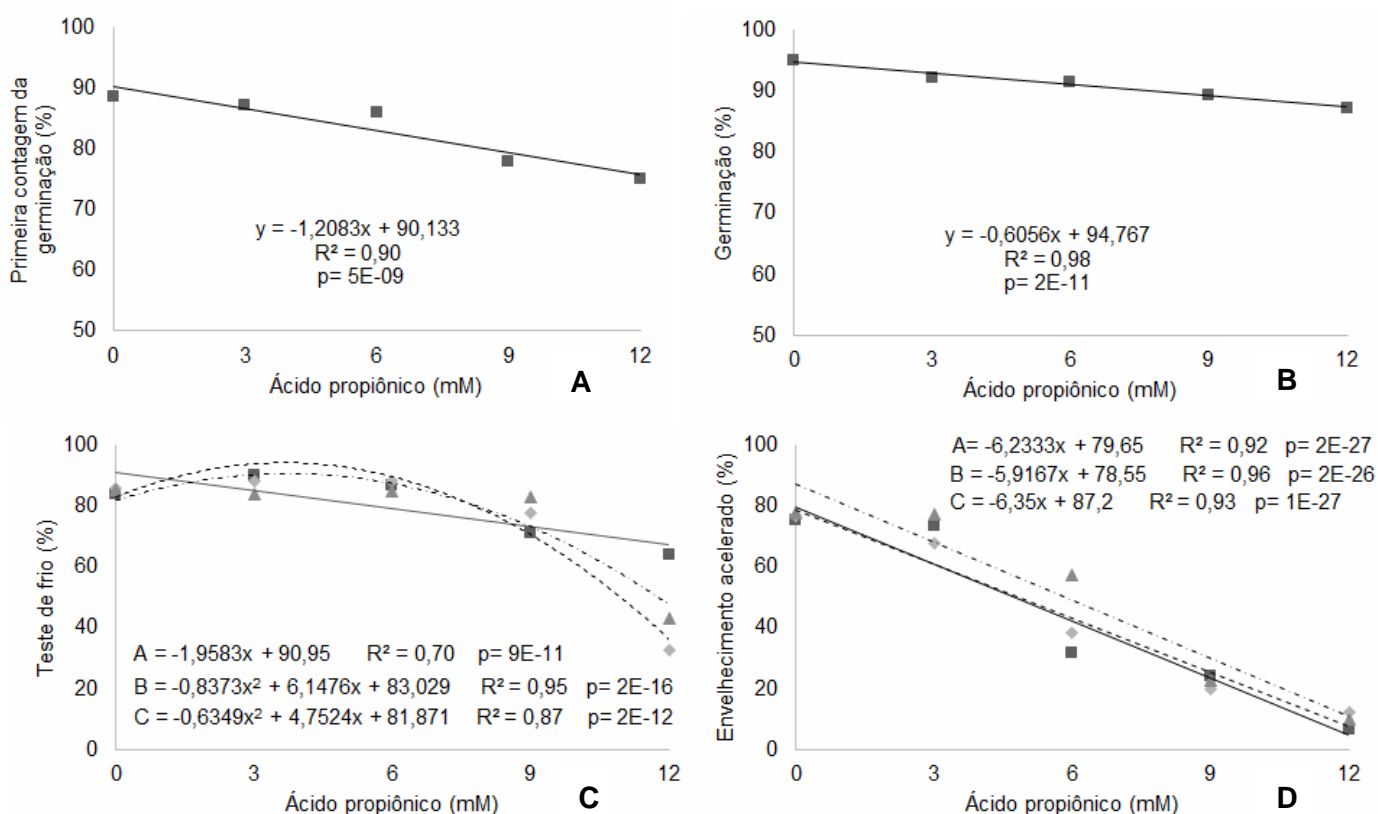
\*Médias seguidas por mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Duncan ( $p \leq 0,05$ ).

Concentrações crescentes de ácido propiônico propiciaram reduções lineares nos parâmetros relacionados a germinação (Figura 1A e 1B). Em estudo com sementes de trigo submetidas a tratamento com ácido propiônico, NEVES et al., (2009) observou que para o teste de primeira contagem de germinação, a porcentagem de plântulas normais variou de 94 a 1% e a germinação de 96 a 3%. Em estudo com sementes de arroz submetidas a diferentes concentrações de ácido acético e propiônico, foi constatado que estes ácidos orgânicos reduzem a qualidade fisiológica (NEVES et al., 2010). E essa redução da germinação pode ser explicada por ARMSTRONG & ARMSTRONG (2001), que verificaram que o contato direto com o elemento tóxico (ácidos orgânicos) causa degradação da parede celular, inibição das funções respiratórias e diminuição da divisão celular.

Para o teste de frio (Figura 1 C), o lote A apresentou redução linear com o aumento da concentração do ácido propiônico, sendo esta redução de 1,96 pontos percentuais para cada unidade de aumento da concentração do ácido. Já os lotes B e C enquadraram-se a um modelo quadrático, mantendo-se praticamente sem redução de vigor até as concentrações de ácido propiônico de 3,68 e 3,74 mM, respectivamente, com posterior redução no vigor nas concentrações mais elevadas.

Em relação ao envelhecimento acelerado (Figura 1D), os três lotes apresentaram o mesmo comportamento com o aumento das concentrações do ácido

propiónico. Os lotes A, B e C apresentaram redução de 6,23, 5,92 e 6,35 pontos percentuais para cada unidade de aumento da concentração do ácido, respectivamente. Essa redução conferiu uma porcentagem de plântulas normais de 4,85, 7,55 e 11%, respectivamente. Segundo TAKENAGA (1995), os ácidos orgânicos interferem em processos responsáveis pela produção de energia no sistema radicular, como a respiração e a fosforilação oxidativa, e são inibidores de funções das mitocôndrias, interferindo no processo inicial de desenvolvimento das plântulas e no alongamento radicular para melhor fixação no solo, o que pode explicar a redução da viabilidade e vigor das sementes de milho observadas no presente estudo.

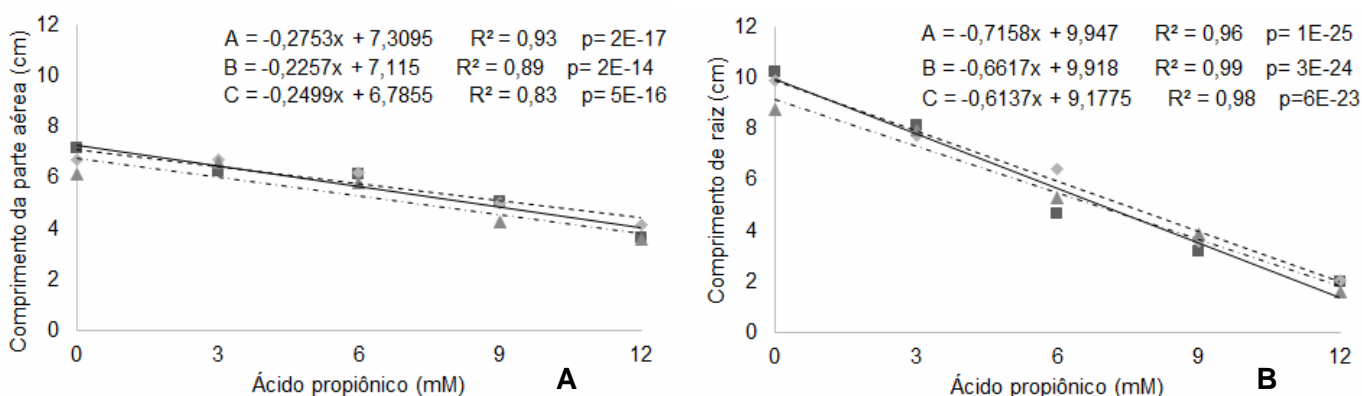


**FIGURA 1.** Primeira contagem de germinação (A), germinação (B), teste de frio (C) e envelhecimento acelerado (D) de sementes de milho submetidas a diferentes concentrações de ácido propiónico.

O comprimento da parte aérea (Figura 2A) e radicular (Figura 2B) enquadram-se em um modelo linear decrescente em relação a concentrações de ácido. Para o comprimento da parte aérea, as plântulas dos lotes A, B e C reduziram 0,28, 0,22 e 0,25 cm para cada unidade de aumento da concentração do ácido, respectivamente. Já para o comprimento de raiz, essa redução foi mais acentuada, sendo que os lotes A, B e C reduziram 0,72, 0,66 e 0,61 cm para cada unidade de aumento da concentração do ácido propiónico. Segundo LEMES et al., (2014) o ácido propiónico é mais prejudicial ao sistema radicular do que para a parte aérea de plântulas de aveia. Resultado semelhante ao obtido por TUNES et al., (2012) que, verificaram que o comprimento de raiz de plântulas de trigo foi a que apresentou maior redução em função do aumento das concentrações de ácido butírico. SCHMIDT et al., (2010)

verificaram que o crescimento da parte aérea e de raiz de culturas como o milho, a soja e o sorgo diminuem com a aplicação de concentrações crescentes de ácido acético. Além destes autores, KOPP et al., (2012) também relataram que a presença de ácidos orgânicos afeta negativamente o comprimento de raiz de plântulas de arroz.

De acordo com TUNES et al., (2013b) a redução do sistema radicular pode ter ocorrido devido ser a parte da plântula na qual se concentra a capacidade de absorção de água e junto dessa água é absorvido o ácido propiônico (substância tóxica). Este ácido, ao entrar em contato com o sistema radicular, encontra-se em seu ponto máximo de concentração e ao ser absorvido pelo sistema radicular, os ácidos orgânicos são distribuídos pela plântula, de maneira que, quando chega à parte aérea, chega com concentração bem menor do que a inicial. Assim, a parte aérea sofre bem menos o efeito tóxico. Vale ressaltar que os efeitos negativos não são causados somente por este ácido, mas sim pela combinação deste com outros ácidos encontrados no solo. Além disso, segundo NEVES et al. (2010), estes ácidos orgânicos são inibidores de funções da mitocôndria, ocasionando o desacoplamento da fosforilação oxidativa, transporte de metabólitos de enzimas glicolíticas solúveis no citossol e funções ligadas a membranas, em que as mais afetadas são a síntese de polissacarídeos e a ATPase, comprometendo todo o desenvolvimento da planta.



**FIGURA 2.** Comprimento da parte aérea (A) e de raiz (B) de lotes de sementes de milho submetidas a diferentes concentrações de ácido propiônico

## CONCLUSÕES

O ácido propiônico causa redução na viabilidade e no vigor de sementes de milho. Concentrações a partir de 3 mM são prejudiciais ao desempenho fisiológico de lotes de sementes de milho.

## REFERÊNCIAS

- ANGELES, O.R.; JOHNSON, S.E.; BURESH, R.J. Soil solution sampling for organic acids in rice paddy soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.70, n.1, p. 48-56, 2006.
- ARMSTRONG, J.; ARMSTRONG, W. Rice and Phragmites: effects of organic acids on growth, root permeability, and radial oxygen loss to the rhizosphere. **American Journal of Botany**, v.88, p. 1359-137, 2001.

BOHNEN, H.; SILVA, L. S.; MACEDO, V. R. M.; MARCOLIN, E. Ácidos orgânicos na solução de um gleissolo sob diferentes sistemas de cultivo com arroz irrigado. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.29, p.475-480, 2005.

BORTOLON, L.; SOUSA, R.O; BORTOLON, E.S.O. Toxidez por ácidos orgânicos em genótipos de arroz irrigado. **Scientia Agrária**, v.10, n.1, p.81-84, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395p.

CAMARGO, F. A. O.; ZONTA, E.; SANTOS, G. A.; ROSSIELLO, R.O.P. Aspectos fisiológicos da toxidez de ácidos orgânicos voláteis em plantas. **Ciência Rural**, v.31, n.3, p.523-529, 2001.

CÍCERO, S. M.; VIEIRA, R. D. Teste de frio. In: VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, p.151-164. 1994.

KOOP, M. M.; LUZ, V. K.; COIMBRA, J. L. M.; SOUSA, R. O.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C. Níveis críticos dos ácidos acético, propiônico e butírico para estudos de toxicidade em arroz em solução nutritiva. **Acta Botânica Brasílica**, v. 21, n. 1, p. 147-154, 2007.

KOOP, M. M.; LUZ, V. K.; MAIA, L. C.; SOUSA, R. O.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A.C. Avaliação de genótipos de aveia branca sob estresse de ácidos orgânicos. **Bragantia**, v. 68, n. 2, p. 329-338, 2009.

KOPP, M.M.; LUZ, V.K.; MAIA, L.C.; COIMBRA, J.L.M.; SOUSA, R.O.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C. Avaliação de genótipos de arroz sob efeito do ácido butírico. **Acta Botânica Brasílica**, v.24, n.2, p.578-584, 2010.

KOPP, M.M.; LUZ, V.K.; COIMBRA, J.L.M.; SOUSA, R.O.; OLIVEIRA, A.C. Avaliação de genótipos de arroz sob o efeito fitotóxico interativo dos ácidos acético, propiônico e butírico. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.2, p.519-532, 2012.

LEMES, E. S.; OLIVEIRA, S.; TAVARES, L. C.; ARAUJO, C. R.; FONSECA, D. A. R.; MENEGHELLO, G. E. Germinação e crescimento inicial de cultivares de aveia branca submetidas a estresse por ácido butírico. **Magistra**, v.26, n.1, p.38-46, 2014.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, p.3.1-3.24. 1999.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOSWKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, p.2.1-2.24. 1999.



NEVES, L. A. S.; BASTOS, C.; GOULART, E. P. L.; HOFFMANN, C. E. F. Qualidade fisiológica de sementes de arroz irrigado submetidas a ácidos orgânicos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.9, n. 2, p. 169-177, 2010.

NEVES, L. A. S.; HOFFMANN, C. E. F.; SHAEDLER, L.; BASTOS, C. F. Desempenho fisiológico de sementes de trigo submetidas a ácidos orgânicos. **Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias**, v. 15, n. 3, p. 157-166, 2009.

PATRICK, Z. A. Phytotoxic substances associated with the decomposition in soil of plants residues. **Soil Science**, v.3, n.1, p.13-18, 1971.

RAO, D.N.; MIKKELSEN, D.S. Effects of acetic, propionic and butyric acids on rice seedlings growth and nutrition. **Agronomy Journal**, v.69, n.6, p.323-334, 1977.

SHMIDT, F.; FORTES, M. A.; BORTOLON, L.; BORTOLON, E. S. O.; SOUSA, R. O. Nível crítico de toxidez do ácido acético em culturas alternativas para solos de várzea. **Ciência Rural**, v. 40, n. 5, p. 1068-1074, 2010.

TAKENAGA, H. Nutrient absorption in relation to environmental factors. In: MATSUO, T. et al. (Ed.). **Science of the rice plant: physiology**. Tokyo: Nosan Gyoson Bunka Kyokai, 1995.

TUNES, L. M.; TAVARES, L. C.; MENEGHELLO, G. E.; FONSECA, D. Â. R; BARROS, A. C. S. A.; RUFINO, C. A. Ácidos orgânicos na qualidade fisiológica de sementes de arroz. **Ciência Rural**, v.43, n.7, p. 1182-1188, 2013a.

TUNES, L. M.; LEMES, E. S.; PINO, M.; BRUNES, A. P.; RUFINO, C. A.; VILLELA, F. A. Análise de qualidade de cultivares de aveia submetida ao estresse por ácido propiônico. **Bioscience Journal**, v.29, n.5, p.1179-1186, 2013b.