



# Physiological potential of corn seeds with different sizes and vigor levels subjected to micronutrient treatment<sup>1</sup>

## *Potencial fisiológico de sementes de milho com diferentes tamanhos e níveis de vigor submetidas ao tratamento com micronutrientes*

Mônica Satie Omura<sup>2\*</sup>; Verônica Pellizzaro<sup>2</sup>; Gustavo Henrique Freiria<sup>2</sup>; Felipe Favoretto Furlan<sup>2</sup>; Márcio Antonio Nicoletti<sup>2</sup>; Lúcia Sadayo Assari Takahashi<sup>2</sup>

**Abstract:** Micronutrients are used in small amounts by plants and changes in metabolic processes of seeds can improve germination and vigor; however, little is known about the effects of the combination of Zn, Co, and Mo on corn seeds. Thus, the objective of this study was to evaluate the effects of the application of Zn, Co, and Mo on the physiological potential of corn seeds of different sizes and levels of vigor. A randomized 2x2x3 factorial design was adopted, with two levels of vigor (high and low), two seed sizes (18 and 22 mm), and three doses of liquid fertilizer containing micronutrients (0, 2, and 4 mL kg<sup>-1</sup>). The physiological potential of the seeds was evaluated based on germination and vigor tests. High vigor corn seeds had greater physiological potential compared to low vigor seeds. Regarding size, small seeds (18 mm) had higher percentages of germination and vigor than the large seeds (22 mm). Seed treatment with micronutrients (Co, Mn, and Zn) resulted in improved emergence in the field, shoot length, and dry mass of large and small seeds with the application dose of 2 mL kg<sup>-1</sup>, and the application dose of 4 mL kg<sup>-1</sup> enhanced emergence in the field of large seeds and germination after the cold test of low vigor seeds of both sizes.

**Key words:** Cobalt. Molybdenum. Seed size. Vigor. Zinc.

**Resumo:** Os micronutrientes são necessários em pequenas quantidades pelas plantas, quando aplicados via sementes podem melhorar a germinação e o vigor, no entanto, pouco se sabe sobre os efeitos da combinação de Zn, Co e Mo em sementes de milho. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos da aplicação de micronutrientes, Zn, Co e Mo, sobre o potencial fisiológico de sementes de milho separadas por diferentes tamanhos e níveis de vigor. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x2x3, sendo dois níveis de vigor (alto e baixo), dois tamanhos de sementes (18 e 22 mm) e três doses de fertilizante líquido contendo micronutrientes (0, 2 e 4 mL kg<sup>-1</sup>). O potencial fisiológico das sementes foi avaliado por meio dos testes de germinação e vigor. As sementes de milho de alto vigor apresentam maior potencial fisiológico, se comparadas às de baixo vigor. Em relação ao tamanho, as pequenas (18 mm) apresentam maior porcentagem de germinação e vigor do que as grandes (22 mm). O tratamento de sementes com micronutrientes (Co, Mn e Zn) equipara a emergência em campo, comprimento e massa seca dos lotes de sementes grandes e pequenas com a aplicação de 2 mL kg<sup>-1</sup>, e potencializa a emergência em campo das sementes grandes e a germinação após o teste de frio de sementes de baixo vigor e de ambos tamanhos com 4 mL kg<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** Cobalto. Molibdênio. Tamanho de sementes. Vigor. Zinco.

\*Corresponding author

Submitted for publication on 04/11/2019, approved on 06/03/2020 and published on 28/04/2020

<sup>1</sup>Artigo extraído de Projeto de Pesquisa.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias (CCA), Departamento de Agronomia, Campus Universitário, CEP 86051-990, Londrina, PR, Brasil. E-mails: monica\_omura@hotmail.com; veronicapellizzaro@hotmail.com; gustavo-freiria@hotmail.com; ffavorettofurlan@gmail.com; marcio@sementesbalu.com.br; sadayo@uel.br.

## INTRODUCTION

Corn cultivation is important worldwide; in addition to being a source of carbohydrates for human and animal food, it serves as a raw material for various industrial purposes. In Brazil, the first crop of corn is currently used mainly to meet the country's domestic demand although it provides reliable high yields, as rural producers choose to grow soybeans during this period. In contrast, the second crop covers a greater area, accounting for almost 70% of the total corn produced in Brazil (CONAB, 2019).

Regardless of the cultivated area, it is essential to have the capacity for efficient production with increased productivity. The use of seeds with high vigor ensures better establishment in the field, and the established plants have advantages in growth and leaf development, dry matter production, and productivity compared to plants from seeds of low vigor (FRANÇA NETO *et al.*, 2012). The use of products with physiological effects on plants has also been the subject of studies, mainly owing to the discovery of new formulations (BINSFELD *et al.*, 2014).

Some formulations, such as liquid fertilizers containing micronutrients, are used in seed treatment in order to provide seedlings with potential for good establishment and initial growth, through positive effects on the development of the root system and reduced vulnerability to adverse weather at the beginning of the growing cycle (OHSE *et al.*, 2014; BONTEMPO *et al.*, 2016; MARTINS *et al.*, 2016).

Micronutrients are needed by plants in small amounts and can be applied to the soil, plants, or seeds (FAROOQ *et al.*, 2012). Seed treatment allows uniform distribution around the reproductive structure (TAVARES *et al.*, 2015) with positive effects on the establishment of seedlings in the field and on participation in metabolic processes that culminate in increased productivity and micronutrient content in the seeds produced (FAROOQ *et al.*, 2012).

Zn plays a role in photosynthesis, protein synthesis, membrane permeability, and nitrate reduction (TAVARES *et al.*, 2015). However, in the seedling phase, the root system is limited and poorly developed, and the aerial part is not able to absorb nutrients through leaf spray (TUNES *et al.*, 2012); therefore, application to seeds is a promising option. Seeds produced in soils with a deficit of Zn may have insufficient amounts of this micronutrient, reflected in the reduction in vigor, and consequently, in productivity (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

## INTRODUÇÃO

O cultivo de milho apresenta importância no cenário mundial; pois além de ser fonte de carboidratos para a alimentação humana e animal, serve como matéria prima para diversos fins industriais. No Brasil, a primeira safra de milho tem produção pontual, pois nesse período os produtores rurais optam pelo cultivo da soja, utilizada para manter a demanda do país, por outro lado, a segunda safra abrange maior área e produção, quase 70% do total de milho produzido no Brasil (CONAB, 2019).

Independentemente da área cultivada, é essencial ter a capacidade de produzir de modo eficiente com acréscimos da produtividade. A utilização de sementes com alto vigor garante melhor estabelecimento em campo, e as plantas desenvolvidas apresentam vantagens no crescimento e desenvolvimento foliar, produção de matéria seca e produtividade se comparadas às de baixo vigor (FRANÇA NETO *et al.*, 2012). A utilização de produtos com efeitos fisiológicos nas plantas também tem sido alvo de estudos, principalmente, pela descoberta de novas formulações (BINSFELD *et al.*, 2014).

Algumas formulações, como os fertilizantes líquidos contendo micronutrientes, são empregadas no tratamento de sementes com a finalidade de proporcionar às plântulas um bom estabelecimento e crescimento inicial, por meio de efeitos positivos no desenvolvimento do sistema radicular e redução da vulnerabilidade às intempéries no início do ciclo (OHSE *et al.*, 2014; BONTEMPO *et al.*, 2016; MARTINS *et al.*, 2016).

Os micronutrientes são necessários às plantas em pequenas quantidades e podem ser aplicados no solo, nas plantas ou por meio das sementes (FAROOQ *et al.*, 2012). O tratamento via semente permite a distribuição uniforme em torno dessa estrutura reprodutiva (TAVARES *et al.*, 2015), com efeitos positivos sobre o estabelecimento das plântulas no campo e sobre a participação nos processos metabólicos que culminam no aumento da produtividade e do teor de micronutrientes nas sementes produzidas (FAROOQ *et al.*, 2012).

Zn tem participação nos processos de fotossíntese, síntese de proteínas, permeabilidade da membrana e redução de nitratos (TAVARES *et al.*, 2015). No entanto, em fase de plântula, o sistema radicular é limitado, pouco desenvolvido e a parte aérea não é capaz de absorver por pulverização foliar (TUNES *et al.*, 2012), por esse motivo, a aplicação via semente é uma opção promissora. Sementes produzidas em solos com déficit de Zn podem apresentar quantidades insuficientes desse micronutriente, refletindo na redução do vigor e, conseqüentemente, da produtividade (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Mo participates in the assimilation of N by plants, as it influences and participates in the activity of nitrate reductase, the deficiency of which induces the decrease of N, harming agricultural production (SILVA *et al.*, 2018). Its application via seeds can supply the amount required throughout the entire growing cycle (PEREIRA *et al.*, 2012); however, an excess is harmful to certain species of bacteria used in seed inoculation (FAROOQ *et al.*, 2012).

Co acts in the processes of N fixation and insufficient levels drastically impair assimilation, whereas in excess, it acts antagonistically to Fe in metabolic processes (SFREDO; OLIVEIRA, 2010). In addition, the application of 12 mg kg<sup>-1</sup> of this micronutrient tends to increase the levels of N, P, K, Zn, Mn, and Cu (KANDIL *et al.*, 2013).

Seed treatments with micronutrients have demonstrated results in terms of benefiting physiological potential. However, they must be studied continuously in order to concentrate resources for good establishment of crops in the field. Thus, studies on the supply of micronutrients via seeds and their effects on germination and vigor are necessary. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effects of the application of micronutrients (Zn, Co, and Mo) on the physiological potential of corn seeds, using seeds of different sizes and levels of vigor.

## MATERIAL AND METHODS

The experiment was conducted under controlled conditions in a laboratory located in the city of Londrina-PR, during the month of november 2018.

The experimental design was completely randomized with the use of a 2×2×3 factorial scheme with eight replications. The treatments were a combination of two levels of vigor (high and low), two grain sizes or seed sizes (18 and 22 mm), and three doses of a solution containing micronutrients (0, 2, and 4 mL kg<sup>-1</sup>). The commercial liquid fertilizer had the following composition: 0.50% Co sol. H<sub>2</sub>O (6.2 g L<sup>-1</sup>), 4% Mo sol. H<sub>2</sub>O (49.6 g L<sup>-1</sup>), and 5% Zn sol. H<sub>2</sub>O (62 g L<sup>-1</sup>).

Initially, a germination test was performed (BRASIL, 2009) with seeds from the corn cultivar 'Balu 184' to verify the germinative potential, and this batch was classified as high vigor. The low vigor batch was obtained from the accelerated aging of the high vigor seeds. Seeds were packed in metal screens inside gerbox type boxes, filled with 40 mL of saturated NaCl PA solution, in the proportion of 40 g of salt to 100 mL of distilled water (JIANHUA; MCDONALD, 1996) and kept in an accelerated aging chamber for 11 days.

O Mo participa da assimilação de N pelas plantas, pois compõe e atua na atividade do nitrato redutase, a deficiência induz o decréscimo de N, prejudicando a produção agrícola (SILVA *et al.*, 2018). A sua aplicação via semente é capaz de suprir a exigência ao longo de todo o ciclo (PEREIRA *et al.*, 2012), por outro lado, o excesso é prejudicial a certas espécies de bactérias utilizadas na inoculação de sementes (FAROOQ *et al.*, 2012).

O Co atua nos processos de fixação de N, teores insuficientes prejudicam drasticamente a assimilação, assim como em excesso age de forma antagônica ao ferro nos processos metabólicos (SFREDO; OLIVEIRA, 2010). Além disso, a aplicação de 12 mg kg<sup>-1</sup> desse micronutriente tende a aumentar os teores de N, P, K, Zn, Mn e Cu (KANDIL *et al.*, 2013).

Os tratamentos de sementes com micronutrientes tem resultados comprovados quanto aos benefícios sobre o potencial fisiológico. No entanto, devem ser estudados constantemente a fim de concentrar recursos para um bom estabelecimento em campo. Dessa forma, é necessário estudos sobre o fornecimento de micronutrientes via sementes e seus efeitos sobre a germinação e vigor. Portanto, objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos da aplicação de micronutrientes (Zn, Co e Mo) sobre o potencial fisiológico de sementes de milho, com diferentes tamanhos e níveis de vigor.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condições controladas em um laboratório localizado na cidade de Londrina-PR, durante o mês de novembro de 2018.

Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x2x3, com 8 repetições. Os tratamentos foram resultados da combinação de 2 níveis de vigor (alto e baixo), 2 granulometrias ou tamanhos de sementes (18 e 22 mm) e 3 doses de uma solução contendo micronutrientes (0, 2 e 4 mL kg<sup>-1</sup>). O fertilizante líquido comercial apresentava a seguinte composição: 0,50% Co sol. H<sub>2</sub>O (6,2 g L<sup>-1</sup>); 4% de Mo sol. H<sub>2</sub>O (49,6 g L<sup>-1</sup>); 5% Zn sol. H<sub>2</sub>O (62 g L<sup>-1</sup>).

Inicialmente, foi realizado um teste de germinação (BRASIL, 2009) com sementes da cultivar de milho 'Balu 184', para verificar o potencial germinativo, sendo esse lote classificado de alto vigor. O lote de baixo vigor foi obtido a partir do envelhecimento acelerado das sementes de alto vigor, as quais foram acondicionadas em telas de metal dentro de caixas do tipo gerbox, preenchidas com 40 mL de solução saturada de NaCl PA, na proporção de 40 g de sal para 100 mL de água destilada (JIANHUA; MCDONALD, 1996) e mantidas em câmara de envelhecimento acelerado por 11 dias.

After obtaining batches of high and low vigor seeds, the seeds were treated with micronutrients with the aid of plastic polypropylene bags. Seeds were placed in the bags with either 2 or 4 mL of liquid fertilizer per kg of seeds. For dose 0, only distilled water was used. The entire contents of the bag were homogenized by stirring for one minute.

The physiological potential of the seeds was evaluated through the following tests: germination in sand, cold test, emergence in the field, shoot length, and dry mass of the aerial part.

For the germination test, the sand was sieved with a 0.5 mm mesh and its water retention capacity was checked for subsequent moistening with distilled water. The sand (2.5 kg) was deposited in plastic trays of 30 × 19.5 × 4.5 cm dimension and two replicates of 50 seeds were sown. The containers were kept in Mangelsdorf germination chambers for 7 days at a constant temperature of 25 °C. At the end of this period, the number of normal seedlings was counted, and the results were expressed as a percentage (BRASIL, 2009).

The determination of shoot length and dry mass of the aerial part was performed by cutting 10 randomly selected seedlings from the sand germination test (7 days after sowing) at the soil line with a blade. The shoot length was measured with the aid of a graduated ruler (cm); and the evaluated material was placed in kraft paper bags and kept in a forced circulation oven at 80 °C until reaching a constant mass. Then, the dry mass of the aerial part was measured on an analytical balance with 0.0001 g precision. The results were expressed as mg per plant (adapted from NAKAGAWA, 1999).

For the cold test, 50 seeds were distributed among three sheets of paper towels moistened to thrice the dry mass of the paper. Eight rolls of each treatment were packed in polypropylene bags and placed in a germination chamber maintained for 7 days at a constant temperature of 25 °C. After this period, the packages of the roller sets were transferred to a Mangelsdorf-type germinator and maintained at 25 °C for 4 days, and the percentage of normal seedlings germinated was evaluated (BARROS *et al.*, 1999).

The emergence in the field was verified by sowing 400 seeds distributed in 8 lines of 1.5 m in length and 0.45 m between lines in eutroférrico clayey Red Latosol with irrigation as required. The normal seedlings that emerged were counted on the 12th day after sowing.

The data were checked for normality (Shapiro–Wilk test) and homoscedasticity (Hartley’s test), and subsequently subjected to analysis of variance using the F-test. The means were compared using the Tukey’s test at a 5% probability level.

Após a obtenção dos lotes de alto e baixo vigor, realizou-se o tratamento das sementes com micronutrientes com auxílio de sacos plásticos de polipropileno, nos quais foram depositadas as sementes e as respectivas doses, 2 e 4 mL do fertilizante líquido por kg de sementes. Para a dose 0, sem adição do fertilizante, utilizou-se apenas água destilada. Todo o conteúdo foi homogeneizado por meio de agitação durante um minuto.

O potencial fisiológico das sementes foi avaliado por meio dos seguintes testes: germinação em areia, teste de frio, emergência em campo, comprimento e massa seca de parte aérea.

Para o teste de germinação, a areia foi peneirada com malha de 0,5 mm e verificada sua capacidade de retenção de água para posterior umedecimento com água destilada. A areia (2,5 kg) foi depositada em bandejas plásticas com dimensões: 30 x 19,5 x 4,5 cm e semeadas duas repetições de 50 sementes. Os recipientes foram mantidos em câmaras de germinação do tipo Mangelsdorf por 7 dias sob temperatura constante de 25 °C. Ao final deste período, o número de plântulas normais foi contabilizado, sendo os resultados expressos em porcentagem (BRASIL, 2009).

A determinação do comprimento e massa seca da parte aérea foi realizada a partir de um corte com lâmina na altura do colo de 10 plântulas retiradas aleatoriamente do teste de germinação em areia (7 dias após a semeadura). O comprimento foi mensurado com auxílio de uma régua graduada (cm); logo após, o material avaliado foi posto em sacos de papel kraft e mantido em estufa de circulação forçada à 80 °C até atingir massa constante, em seguida, a massa seca da parte aérea foi aferida em balança analítica de precisão de 0,0001 g, sendo os resultados expressos em mg por planta (adaptado de NAKAGAWA, 1999).

O teste de frio iniciou-se com a semeadura de 50 sementes distribuídas entre três folhas de papel toalha, umedecidas na proporção de três vezes a massa seca do papel. Oito rolos de cada tratamento foram embalados em sacos de polipropileno e encaminhados a uma câmara de germinação, à temperatura constante de 25 °C, permanecendo por 7 dias. Após esse período, as embalagens dos conjuntos de rolos foram transferidas para um germinador do tipo Mangelsdorf, regulado à 25 °C por 4 dias, para então avaliar a porcentagem de plântulas normais germinadas (BARROS *et al.*, 1999).

A emergência em campo foi verificada por meio da semeadura de 400 sementes distribuídas em 8 linhas de 1,5 m de comprimento e 0,45 m entre linhas em Latossolo Vermelho eutroférrico com irrigação de acordo com a necessidade da cultura. As plântulas normais emergidas foram contabilizadas ao 12º dia após a semeadura.

Os dados foram verificados quanto à normalidade (ShapiroWilk) e homocedasticidade (Hartley), posteriormente, submetidos à análise de variância pelo teste F, e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

## RESULTS

There was no interaction between all three factors studied; however, interaction between doses and vigor was observed for the variables cold test (TF), shoot length (CPA), and shoot dry mass (MSPA) of corn seedlings. There was also a significant interaction between doses and size ( $p \leq 0.05$ ) for emergence in the field (EC) and the cold test (TF). For the size and vigor interaction, only the shoot length was affected. Germination was influenced by isolated factors size and vigor (Table 1).

## RESULTADOS

Não houve interação entre os três fatores estudados, mas constatou-se interação entre doses e vigor para as variáveis teste de frio (TF), comprimento de parte aérea (CPA) e massa seca de parte aérea (MSPA) de plântulas de milho. Também houve interação significativa entre doses e tamanho ( $p \leq 0,05$ ) para emergência em campo (EC) e TF. Para a interação tamanho e vigor, somente o CPA foi afetado. A germinação foi influenciada pelos fatores isolados tamanho e vigor (Tabela 1).

**Table 1** - Analysis of variance with mean square values for the variables germination (G, %), field emergence (EC, %), cold test (TF, %), shoot length (CPA, cm), and dry mass of aerial part (MSPA, mg) of 'Balú 184' corn seedlings as a function of two sizes (18 and 22 mm), two levels of vigor (high and low), and three doses of micronutrients (0, 2, and 4 mL kg<sup>-1</sup>)

**Tabela 1** - Análise de variância com valores do quadrado médio para as variáveis G-germinação (%), EC-emergência em campo (%), TF-teste de frio (%), CPA-comprimento (cm) e MSPA-massa seca de parte aérea (mg) de plântulas de milho cv. Balú 184 em função de dois tamanhos (18 e 22 mm), dois níveis de vigor (alto e baixo) e três doses de micronutrientes (0, 2 e 4 mL kg<sup>-1</sup>)

Source of Variation	Mean square values				
	G	EC	TF	CPA	MSPA
Dose (D)	31.29 <sup>ns</sup>	876.13 <sup>**</sup>	4434.76 <sup>**</sup>	0.69 <sup>ns</sup>	0.0031 <sup>ns</sup>
Size (T)	260.04 <sup>*</sup>	1.042 <sup>ns</sup>	675.03 <sup>**</sup>	3.31 <sup>**</sup>	0.0083 <sup>**</sup>
Vigor (V)	1426.04 <sup>**</sup>	3197.042 <sup>**</sup>	34163.76 <sup>**</sup>	23.913 <sup>**</sup>	0.029 <sup>**</sup>
D × T	87.79 <sup>ns</sup>	599.54 <sup>**</sup>	2072.39 <sup>**</sup>	0.95 <sup>ns</sup>	0.00018 <sup>ns</sup>
D × V	94.79 <sup>ns</sup>	136.79 <sup>ns</sup>	4668.26 <sup>**</sup>	4.90 <sup>**</sup>	0.011 <sup>**</sup>
T × V	77.04 <sup>ns</sup>	70.04 <sup>ns</sup>	3.01 <sup>ns</sup>	5.64 <sup>**</sup>	0.0018 <sup>ns</sup>
D × T × V	89.29 <sup>ns</sup>	94.04 <sup>ns</sup>	1406.14 <sup>ns</sup>	0.33 <sup>ns</sup>	0.0014 <sup>ns</sup>
C.V. (%) <sup>***</sup>	8.03	12.33	13.43	5.78	11.23

<sup>\*\*</sup> Significant at 1%; <sup>\*</sup> Significant at 5%; <sup>ns</sup> not significant per the F-test ( $p \leq 0.05$ ). <sup>\*\*\*</sup>C. V. Variation coefficient.

<sup>\*\*</sup>Significativo a 1%; <sup>\*</sup>Significativo a 5%; <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ). <sup>\*\*\*</sup>C. V. Coeficiente de variação.

The seeds of 18 mm size and with high vigor had a higher percentage of germination than those of 22 mm and low vigor (Table 2).

Larger seeds (22 mm) treated with micronutrients at doses of 2 and 4 mL kg<sup>-1</sup> showed an increase in the percentage of emergence in the field in relation to that in the control (Table 3). Despite a significant difference in emergence between seeds of different sizes with micronutrient doses of 0 and 4 mL kg<sup>-1</sup>, the percentage of emergence was similar with doses of both 2 and 4 mL kg<sup>-1</sup> micronutrient application. In contrast, when subjected to the highest dose (4 mL kg<sup>-1</sup>), the smaller seeds (18 mm) had a lower performance in the field than that of the larger seeds (Table 3). High vigor seeds had better performance in the field and had a higher percentage of emergence than that of low vigor seeds (Table 3).

As sementes de 18 mm e alto vigor tiveram maior porcentagem de germinação, se comparada às de 22 mm e baixo vigor, respectivamente (Tabela 2).

Na Tabela 3, verifica-se que as sementes maiores (22 mm), tratadas com micronutrientes nas doses de 2 e 4 mL kg<sup>-1</sup>, tiveram aumento na porcentagem de emergência à campo em relação à testemunha. Mesmo com diferença significativa entre tamanho nas doses 0 e 4 mL kg<sup>-1</sup>, a porcentagem de emergência nas doses 2 e 4 mL kg<sup>-1</sup> se equipararam. Por outro lado, as sementes menores (18 mm), quando submetidas à maior dose (4 mL kg<sup>-1</sup>), tiveram desempenho inferior em campo se comparada às maiores (Tabela 3). As sementes de alto vigor tiveram melhor desempenho em campo e apresentaram maior porcentagem de emergência, se comparadas às de baixo vigor (Tabela 3).

**Table 2** - Germination (%) of 'Balú 184' corn seeds owing to isolated factors size and vigor, Londrina-PR, 2018

*Tabela 2 - Germinação (%) de sementes de milho, cv. Balú 184, em função dos fatores isolados tamanho e vigor, Londrina-PR, 2018*

Size	
18	81 a*
22	74 b
Vigor	
Low	70 b
High	85 a

\*Averages followed by the same letter do not differ by the Tukey's test at 5% probability.

*\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade.*

**Table 3** - Emergence of normal seedlings in the field (%) of 'Balú 184' corn seeds owing to the interaction between dose and size and the isolated factor vigor, Londrina-PR, 2018

*Tabela 3 - Emergência de plântulas normais em campo (%), cv. Balú 184, em função da interação entre dose e tamanho e do fator isolado vigor, Londrina-PR, 2018*

Dosage mL kg <sup>-1</sup>	Size	
	18 mm	22 mm
0	74 Aa*	65 Bb
2	78 Aa	81 Aa
4	74 Ab	81 Aa
Vigor		
High	81.33 A	
Low	69.79 B	

\*Means followed by distinct letters, uppercase in the column and lowercase in the row, differ by the Tukey's test at 5% probability.

*\*Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.*

Table 4 shows that vigorous seeds, regardless of the applied dose, had a higher percentage of germination than that of seeds with low vigor. In addition, treatment with 4 mL kg<sup>-1</sup> of the solution containing micronutrients to low vigor seeds improved performance after stress (Table 4).

Na Tabela 4, verifica-se que as sementes vigorosas, independente da dose aplicada, tiveram maior porcentagem de germinação se comparadas às sementes de baixo vigor. Além disso, o tratamento com 4 mL kg<sup>-1</sup> da solução contendo micronutrientes em sementes de baixo vigor melhorou o desempenho após o estresse (Tabela 4).

Both large and small sized seeds treated with 4 mL kg<sup>-1</sup> of micronutrients showed a better performance than with the other treatments. The smaller seeds (18 mm) had a higher percentage of germination after cold stress at doses of 0 and 4 mL kg<sup>-1</sup> than that of the larger seeds (22 mm) (Table 4).

As sementes de ambos tamanhos tratadas com 4 mL kg<sup>-1</sup> de micronutrientes tiveram desempenho superior às demais. As sementes menores (18 mm) tiveram maior porcentagem de germinação após o estresse por frio nas doses de 0 e 4 mL kg<sup>-1</sup> em comparação às maiores (22 mm) (Tabela 4).

**Table 4** - Germination (%) of 'Balu 184' corn seeds with the cold test owing to the interaction between dose and vigor and dose and size, Londrina-PR, 2018

**Tabela 4** - Germinação de sementes de milho (%), cv. Balu 184, pelo teste de frio em função da interação entre dose e vigor e dose e tamanho, Londrina-PR, 2018

Dosage mL kg <sup>-1</sup>	Vigor	
	High	Low
0	82 Aa	44 Bb
2	86 Aa	25 Cb
4	87 Aa	72 Ab
Dosage mL kg <sup>-1</sup>	Size	
	18 mm	22 mm
0	77 Ba	49 Bb
2	55 Ca	57 Ba
4	91 Aa	67 Ab

\*Averages followed by the same letter, uppercase in the columns and lowercase in the rows, do not differ by the Tukey's test at 5% probability.

\*Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

The 2 mL kg<sup>-1</sup> dose stimulated the growth of aerial parts in low vigor seeds, and at this dose, the high and low vigor batches were similar (Table 5). In contrast, at the dose of 4 mL kg<sup>-1</sup>, there was greater stimulation of the growth of the aerial part in the high vigor seed batches. In contrast, the dose of 4 mL kg<sup>-1</sup> negatively interfered with the accumulation of dry mass in seedlings from low vigor seeds (Table 5).

The seeds with high vigor presented greater length of the aerial parts and did not differ in relation to seed size (Table 6). In contrast, low vigor seedlings showed reduced growth, especially in 18 mm seeds. Larger seeds (22 mm) accumulated more dry mass than smaller ones (18 mm).

Na Tabela 5, verifica-se que a dose 2 mL kg<sup>-1</sup> estimulou o crescimento da parte aérea em sementes de baixo vigor, nessa dose os lotes de alto e baixo vigor se equiparam. Por outro lado, na dose 4 mL kg<sup>-1</sup>, houve maior estímulo do crescimento da parte aérea sobre o lote de alto vigor, em contrapartida, a dose de 4 mL kg<sup>-1</sup> interfere negativamente o acúmulo de massa seca de plântulas oriundas de sementes de baixo vigor (Tabela 5).

Na Tabela 6, verifica-se que as sementes de alto vigor apresentaram maior comprimento da parte aérea e não diferiram entre si em relação ao tamanho. Em contrapartida, as plântulas de sementes de baixo vigor tiveram seu crescimento reduzido, principalmente quando classificadas em 18 mm. Sementes maiores (22 mm) acumularam mais massa seca em comparação às menores (18 mm).

**Table 5** - Shoot length and dry weight of 'Balú 184' corn seedlings owing to the interaction between dose and vigor, Londrina-PR, 2018

*Tabela 5 - Comprimento e massa seca da parte aérea de plântulas milho, cv. Balú 184, em função da interação entre dose e vigor, Londrina-PR, 2018*

Dosage mL kg <sup>-1</sup>	Length (cm)	
	Vigor	
	High	Low
0	13.34 Aa	11.08 Bb
2	12.58 Aa	12.42 Aa
4	13.02 Aa	11.19 Bb
Dry weight (g)		
0	0.38 Aa	0.29 Ab
2	0.32 Aa	0.33 Aa
4	0.34 Aa	0.27 Bb

\*Averages followed by the same letter, uppercase in the columns and lowercase in the rows, do not differ by the Tukey's test at 5% probability.

*\*Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.*

**Table 6** - Shoot length (cm) and dry weight (g) of 'Balú 184' corn seedlings owing to the interaction between size and vigor, Londrina-PR, 2018

*Tabela 6 - Comprimento (cm) e massa seca da parte aérea (g) de plântulas de milho, cv. Balú 184, em função da interação entre tamanho e vigor e em função do tamanho, Londrina-PR, 2018*

Vigor	Size	
	High	Low
0	18 mm	22 mm
Length (cm)		
High	13.06 Aa	12.90 Aa
Low	10.97 Bb	12.18 Ba
Dry weight (g)		
	0.31 a	0.34 b

\*Averages followed by the same letter, uppercase in the columns and lowercase in the rows, do not differ by the Tukey's test at 5% probability.

*\*Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.*



## DISCUSSION

High vigor seeds performed better than low vigor seeds when subjected to optimal conditions for germination (Table 2) and suboptimal conditions during vigor tests (Table 3, 4, 5 and 6), as they germinated and emerged more quickly, forming larger seedlings. In contrast, the less vigorous seeds, because they are in an advanced state of deterioration, take longer to reorganize their membranes and organelles and start the processes that culminate in germination (MARCOS FILHO, 2015; SENA *et al.*, 2015). These characteristics also influence seedling performance such that vigorous seeds have higher seedling length and dry weight (HENNING *et al.*, 2010), as was verified in the present study.

The size of the seeds had an influence on germination (Table 2), emergence in the field (Table 3), cold test (Table 4), and dry mass (Table 6), such that the smaller seeds have advantages over the larger ones. The literature is still controversial on this subject. Silva *et al.* (2015) found that large seeds have a higher percentage of germination and index of germination speed, associating the best quality to the size of the seeds, because generally, their reserves are more abundant and they have a well-formed embryo (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). In contrast, Sulewska *et al.* (2014) researching the behavior of corn seeds of different sizes, found that the smaller seeds had better performance in the germination test, and after cold stress, showed behavior similar to the results of the present study.

In addition, the treatment of seeds with micronutrients can maximize the physiological potential of the seeds, as observed with the emergence in the field, shoot length, and dry mass of the large and small seed batches with the application of 2 mL kg<sup>-1</sup> (Tables 3 and 5), in addition to enhancing the emergence in the field of larger seeds (Table 3) and germination after the cold test of low vigor seeds of both sizes with the 4 mL kg<sup>-1</sup> dose (Table 4). Therefore, such treatment can improve the establishment of seedlings in the field, increase productivity, and provide enrichment of the seeds produced (FAROOQ *et al.*, 2012).

The application of Zn, commonly available via the leaf, improves germination, vigor, and viability of the seeds, in addition to increasing the levels of carbohydrates and proteins (albumin, globulins, glutenins, and prolamins) (PANDEY *et al.*, 2013). Several studies have found that seeds treated with Zn in appropriate doses promote positive effects on the physiological potential of seeds in adverse conditions, especially in soils with Zn deficiency (FAROOQ *et al.*, 2012; PROM-U-THAI *et al.*, 2012); however, in toxic doses, they can affect the elongation of the main and secondary roots (STRATU; COSTICĂ, 2015).

## DISCUSSÃO

As sementes de alto vigor apresentam desempenho superior às de baixo vigor quando submetidas a condições ótimas para a germinação (Tabela 2) e subótimas durante os testes de vigor (Tabelas 3, 4, 5 e 6), pois germinam e emergem mais rapidamente, formando plântulas maiores, por outro lado, as menos vigorosas, por estarem em adiantado estado de deterioração, levam mais tempo para reorganizar suas membranas e organelas e iniciar os processos que culminam na germinação (MARCOS FILHO, 2015; SENA *et al.*, 2015). Essas características também influenciam o desempenho das plântulas de forma que as sementes vigorosas apresentam maiores valores de comprimento e massa seca de plântulas (HENNING *et al.*, 2010), assim como foi verificado no presente estudo.

O tamanho das sementes tem influência sobre a germinação (Tabela 2), emergência em campo (Tabela 3), teste de frio (Tabela 4) e massa seca (Tabela 6), de forma que as menores têm vantagens sobre as maiores. A literatura ainda é controversa sobre o assunto. Silva *et al.* (2015) verificaram que sementes grandes apresentam maior porcentagem de germinação e índice de velocidade de germinação, associando a melhor qualidade ao tamanho das sementes, pois geralmente suas reservas são mais abundantes e possuem um embrião bem formado (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). Por outro lado, Sulewska *et al.* (2014), ao pesquisarem o comportamento de sementes de milho de diferentes tamanhos, constataram que as menores tiveram melhor desempenho no teste de germinação e, após estresse pelo frio, comportamento similar aos resultados do presente estudo.

Além disso, o tratamento de sementes com micronutrientes pode maximizar o potencial fisiológico das sementes, pois equipara a emergência em campo, comprimento e a massa seca dos lotes de sementes grandes e pequenas com a aplicação de 2 mL kg<sup>-1</sup> (Tabelas 3 e 5), além de potencializar a emergência em campo das sementes maiores (Tabela 3) e a germinação após o teste de frio de sementes de baixo vigor e de ambos tamanhos com 4 mL kg<sup>-1</sup> (Tabela 4). Portanto, é capaz de melhorar o estabelecimento das plântulas em campo, aumentar a produtividade e proporcionar enriquecimento das sementes produzidas (FAROOQ *et al.*, 2012).

A aplicação de Zn, comumente disponibilizada via foliar, melhora a viabilidade das sementes, além de elevar os teores de carboidratos e proteínas (albuminas, globulinas, gluteninas e prolaminas) (PANDEY *et al.*, 2013). Diversos autores constataram que sementes tratadas com Zn em doses apropriadas promovem efeitos positivos sobre o potencial fisiológico das sementes em condições adversas, principalmente, em solos com deficiência de Zn (FAROOQ *et al.*, 2012; PROM-U-THAI *et al.*, 2012), porém, em doses tóxicas, podem afetar o alongamento das raízes principais e secundárias (STRATU; COSTICĂ, 2015).

Mo is part of the constitution of enzymes, including nitrate reductase; moreover, the scarcity of this micronutrient can lead to nitrogen deficiency if the available source of N in the soil is nitrate. In addition, there are soils that have inadequate amounts of Mo and the supply through external sources could meet this need (TAIZ *et al.*, 2017).

In a study on the physiological quality of sorghum seeds in response to treatment with Zn and Mo-based fertilizer, Cunha *et al.* (2015) found that the availability of these micronutrients at a dose of 0.3 L ha<sup>-1</sup> promoted an increase in germination first count (PCG), cold test, emergence, emergence speed index, fresh weight, dry weight, and seedling length, resulting in vigorous seedlings with a high capacity for transforming reserves.

The application of Co in low concentrations has a beneficial effect on seedling vigor and growth. Co acts on cell division and elongation, structurally improves the root system, and consequently, the accumulation of dry mass of roots, aerial parts, and has a positive influence on the absorption and translocation of water and minerals (JAYAKUMAR *et al.*, 2008; JAYAKUMAR; JALEEL, 2009). Therefore, the availability of adequate doses improves the length and dry mass of corn seedlings (Table 5).

## CONCLUSIONS

High vigor corn seeds have greater physiological potential compared to low vigor seeds. Small seeds (18 mm) have higher percentages of germination and vigor than large seeds (22 mm);

Seed treatment with micronutrients (Co, Mn, and Zn) corresponds to increased emergence in the field, shoot length, and dry mass of large and small seeds with the application of 2 mL kg<sup>-1</sup> micronutrients, and enhances the emergence in the field of large seeds and germination after the cold test of low vigor seeds of both sizes with application of 4 mL kg<sup>-1</sup> micronutrients.

## ACKNOWLEDGMENT

We thank the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) for granting postgraduate scholarships and the Araucária Foundation for the Productivity Grant to the last author.

O Mo faz parte da constituição de enzimas, inclusive da nitrato redutase. A escassez desse micronutriente pode levar a deficiência de N se a fonte disponível de N no solo for o nitrato, além disso existem solos que apresentam quantidades inadequadas de Mo e o fornecimento por meio de fontes externas poderia suprir essa necessidade (TAIZ *et al.*, 2017).

Em estudo sobre a qualidade fisiológica de sementes de sorgo em resposta ao tratamento com fertilizante à base de Zn e Mo, Cunha *et al.* (2015) verificaram que a disponibilização desses micronutrientes na dose de 0,3 L ha<sup>-1</sup> promoveu acréscimo da PCG, TF, emergência, índice de velocidade de emergência, massa fresca, massa seca e comprimento de plântulas, resultando em plântulas vigorosas e com alta capacidade de transformação das reservas.

A aplicação de Co em baixas concentrações tem ação benéfica sobre o vigor e crescimento das plântulas. Age na divisão e alongação celular, melhora estruturalmente o sistema radicular e conseqüentemente o acúmulo de massa seca das raízes, parte aérea, também tem influência positiva na absorção e translocação de água e minerais (JAYAKUMAR *et al.*, 2008; JAYAKUMAR; JALEEL, 2009). Por esse motivo a disponibilização em doses adequadas melhora o comprimento e massa seca de plântulas de milho (Tabela 5).

## CONCLUSÕES

As sementes de milho de alto vigor apresentam maior potencial fisiológico, se comparadas às de baixo vigor. As sementes pequenas (18 mm) apresentam maiores porcentagens de germinação e vigor do que as grandes (22 mm);

O tratamento de sementes com micronutrientes (Co, Mn e Zn) equipara a emergência em campo, comprimento e a massa seca dos lotes de sementes grandes e pequenas com a aplicação de 2 mL kg<sup>-1</sup>, e potencializa a emergência em campo das sementes grandes e a germinação após o teste de frio de sementes de baixo vigor e de ambos tamanhos com 4 mL kg<sup>-1</sup>.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão das bolsas de Pós-Graduação e a Fundação Araucária pela Bolsa Produtividade do último autor.

## CITED SCIENTIFIC LITERATURE

- BARROS, A. S. R.; DIAS, M. C. L. de L.; CICERO, S. M.; KRZYZANOWSKI, F. C. Testes de frio. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. de B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, 1999, p. 5.1- 5.15.
- BINSFELD, J. A.; BARBIERI, A. P. P.; HUTH, C.; CABRERA, I. C.; HENNING, L. M. M. Uso de bioativador, bioestimulante e complexo de nutrientes em sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 88-94, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632014000100010>
- BONTEMPO, A. F.; ALVES, F. M.; CARNEIRO, G. D. O. P.; MACHADO, L. G.; SILVA, L. O. D.; AQUINO, L. A. Influência de bioestimulantes e nutrientes na emergência e no crescimento inicial de feijão, soja e milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 1, p. 86-93, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v15n1p86-93>
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 399p.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Safra 2018/19**, v. 6, n. 7. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2019. 119p.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590p.
- CUNHA, S. G. S.; DAVID, A. M. S. S.; AMARO, H. T. R.; ALVES, D. D.; PORTO, E. M. V. Qualidade fisiológica de sementes de sorgo em resposta ao tratamento com fertilizante à base de zinco e molibdênio. **Revista Agrarian**, v. 8, n. 30, p. 351-357, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.30612/agrarian.v8i30.2979>.
- FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A. Plantas de alto desempenho e alta produtividade da soja. **Seed News**, v. 16, n. 2, p. 8-11, 2012.
- FAROOQ, M.; WAHID, A.; SIDDIQUE, K. H. M. Micronutrient application through seed treatments – a review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 12, n. 1, p. 125-142, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012000100011>
- HENNING, F. A.; MERTZ, L. M.; JACOB JUNIOR, A.; MACHADO, R. D.; FISS, G.; ZIMMER, P. D. Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 727-734, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000300026>
- JAYAKUMAR, K.; JALEEL, C. A.; AZOOZ, M. M. Impact of cobalt on germination and seedling growth of *Eleusine coracana* L. and *Oryza sativa* L. under hydroponic culture. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 3, n. 1, p. 18-20, 2008.
- JAYAKUMAR, K.; JALEEL, C. A. Uptake and accumulation of cobalt in plants: A study based on exogenous cobalt in soybean. **Botany Research International**, v. 2, n. 4, p. 310-314, 2009.
- JIANHUA, Z.; MCDONALD, M. B. The saturated salt accelerated aging test for small-seeded crops. **Seed Science and Technology**, v. 25, n. 1, p. 123-131, 1996.
- KANDIL, H.; FARID, I. M.; EL-MAGHRABY, A. Effect of cobalt level and nitrogen source on quantity and quality of soybean plant. **Journal of Basic and Applied Scientific Research**, v. 3, n. 12, p. 185-192, 2013.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, 2015. 659 p.
- MARTINS, D. C.; BORGES, I. D.; CRUZ, J. C.; MARTINS NETTO, D. C. Produtividade de duas cultivares de milho submetidas ao tratamento de sementes com bioestimulantes, fertilizantes líquidos e *Azospirillum* sp. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 217-228, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v15n2p217-228>
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. DE B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, 1999, p. 20-31.
- OHSE, S.; GODOI, L. B.; REZENDE, B. L. A.; OTTO, R. F.; GODOY, A. R. Germinação e vigor de sementes de feijão-vagem tratadas com micronutrientes. **Visão Acadêmica**, v. 15, n. 1, p. 27-39, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/acd.v15i1.35461>

- OLIVEIRA, S.; TAVARES, L. C.; LEMES, E. S.; BRUNES, A. P.; DIAS, I. L.; MENEGHELLO, G. R. Tratamento de sementes de Avena sativa L. com zinco: qualidade fisiológica e desempenho inicial de plantas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 3, p. 1131-1142, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n3p1131>
- PANDEY, N.; GUPTA, B.; PATHAK, G. C. Enhanced yield and nutritional enrichment of seeds of Pisum sativum L. through foliar application of zinc. **Scientia Horticulturae**, v. 164, 474–483. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2013.10.013>
- PEREIRA, F. R. S.; BRACHTVOGEL, E. L.; CRUZ, S. C. S.; BICUDO, S. J.; MACHADO, C. G.; PEREIRA, J. C. Qualidade fisiológica de sementes de milho tratadas com molibdênio. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 34, n. 3, p. 450-456, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-31222012000300012>
- PROM-U-THAI, C.; RERKASEM, B.; YAZICI, A.; CAKMAK, I. Zinc priming promotes seed germination and seedling vigor of rice. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 175, n. 3, p. 482–488, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/jpln.201100332>
- SENA, D. V. dos A.; ALVES, E. U.; MEDEIROS, D. S. Vigor de sementes de milho cv. ‘Sertanejo’ por testes baseados no desempenho de plântulas. **Ciência Rural**, v.45, n.11, p.1910-1916, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20120751>
- SILVA, C. G. M.; MOREIRA, S. G.; LUPP, R. M.; CASTRO, G. F.; REHAGRO, B. H. A.; SILVA, A. A. P. Doses de molibdênio na produtividade do milho. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 1, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n120181067>
- SFREDO, G. J.; OLIVEIRA, M. C. N. **Soja molibdênio e cobalto**. Soja: molibdênio e cobalto. 1 ed. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 34p.
- STRATU, A.; COSTICĂ, N. The influence of zinc on seed germination and growth in the first ontogenetic stages in the species *Cucumis melo* L. **Present Environment and Sustainable Development**, v. 9, n. 2, p. 215-228, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1515/pesd-2015-0038>
- SULEWSKA, H.; ŚMIATACZ, K.; SZYMAŃSKA, G.; PANASIEWICZ, K.; BANDURSKA, H.; GŁOWICKA-WOŁOSZYN, R. Seed size effect on yield quantity and quality of maize (*Zea mays* L.) cultivated in South East Baltic region. **Zemdirbyste-Agriculture**, v. 101, n. 1, p. 35-40, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.13080/z-a.2014.101.005>
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.
- TAVARES, L. C.; OLIVEIRA, S.; LEMES, E. S.; MENEGHELLO, G. E. Qualidade fisiológica e crescimento inicial de sementes de milho recobertas com micronutrientes. **Brazilian Journal of Agriculture**, v. 90, n. 2, p.156-167, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.37856/bja.v90i2.129>
- TUNES, L. M.; PEDROSO, D. C.; TAVARES, L. C.; BARBIERI, A. P. P.; BARROS, A. C. S. A.; MUNIZ, M. F. B. Tratamento de sementes de trigo com zinco: armazenabilidade, componentes do rendimento e teor do elemento nas sementes. **Ciência Rural**, v. 42, n. 7, p.1141-1146, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012000700001>