

Aplicação foliar de potássio, fósforo e magnésio na fase reprodutiva da cultura de soja

*Foliar application of potassium, phosphorus,
and magnesium in the reproductive phase of soy crop*

GUSTAVO CEARENCE MORAES

Discente de Agronomia (UNIPAM)
E-mail: gustavocearence123@gmail.com

LUÍS HENRIQUE SOARES

Engenheiro Agrônomo e Doutor em Fitotecnia
E-mail: luishs@unipam.edu.br

DULCÉLIO HENRIQUE LANA

Engenheiro Agrônomo (UFV)
E-mail: dulcelioufv@gmail.com

ANA GABRIELA NUNES PEREIRA

Discente de Agronomia (UNIPAM)
E-mail: annagabnunesp@gmail.com

MATHEUS DA SILVA CARDOSO

Discente de Agronomia (UNIPAM)
E-mail: matheusddscardoso@gmail.com

Resumo: A fase decisiva para alta produtividade compreende o enchimento de grãos (R₅) por ser um período de rápido acúmulo de matéria seca e nutrientes nos grãos. Objetivou-se no trabalho avaliar o efeito da aplicação foliar de fósforo (P), magnésio (Mg) e potássio (K) na fase reprodutiva em parâmetros bioquímicos, fenométricos e produtividade da cultura da soja. O experimento foi realizado no campus da COOPADAP no Rio Paranaíba (MG), juntamente com Laboratório NUFEP em Patos de Minas (MG), entre outubro de 2018 e fevereiro de 2019. Os tratamentos foram: T₁: controle; T₂: P (3,0 kg ha⁻¹); T₃: K (3,0 kg ha⁻¹); T₄: Mg (2,5 kg ha⁻¹); T₅: P+K (3,0+2,5kg ha⁻¹); T₆: P+Mg (3,0+2,5kg ha⁻¹); T₇: K+Mg (3,0+2,5 kg ha⁻¹); T₈: P+K+Mg (3,0+3,0+2,5 kg ha⁻¹). O delineamento foi DBC, em esquema fatorial 8x2, com duas cultivares: C₁: M6210 IPRO e C₂: TMG 7063 IPRO com quatro repetições. Foram realizadas avaliações 15 dias após as aplicações de peroxidação lipídica (PL), invertase ácida (IA), °brix, massa seca de vagens (MSV), número de vagens (NV), massa de grãos e produtividade (PROD). Observando-se os resultados de (PL) na cultivar (C₁), a maior redução foi visto no T₆, já (C₂) o T₆ teve a maior redução. Analisando-se a atividade (IA) na (C₁), o T₄ foi superior aos demais tratamentos, enquanto na (C₂) o T₆ teve o maior acréscimo em relação ao controle. O °brix não apresentou diferença significativa entre os tratamentos e entre as cultivares. Em (NV) no estrato inferior, o T₄ foi superior na (C₁), embora na (C₂) não houve diferença estatística, embora, avaliando estrato médio e superior nas duas cultivares, não houve diferença estatística. Finalmente, avaliando (MSV) no estrato médio, o T₄

na (C₁) proporcionou aumento, enquanto, na (C₂) no T₃ maior resposta, no estrato médio o T₄ na (C₁) teve maior incremento, já na (C₂) o T₈ teve maior respondível, por fim no estrato superior na (C₁) o T₆ apresentou aumento, na (C₂) o T₄ obteve o maior incremento. Em relação à produtividade, na (C₁) o T₈ sobressaiu, já na (C₂) o T₆ apresentou o maior ganho.

Palavras-chave: Sinalizadores. Translocação de sacarose. Nutrientes via folha.

Abstract: The decisive phase for high yields comprises grain filling (R5) because it is a period of rapid accumulation of dry matter and nutrients in the grains. This study aimed to evaluate the effect of foliar application of phosphorus (P), magnesium (Mg), and potassium (K) during the reproductive phase on the biochemical, phenometric, and yield parameters of soy. The experiment was conducted at the COOPADAP campus in Rio Paranaíba (MG), with NUFEP Laboratory in Patos de Minas (MG), between October 2018 and February 2019. The treatments were: T₁: control; T₂: P (3,0 kg ha⁻¹); T₃: K (3,0 kg ha⁻¹); T₄: Mg (2,5 kg ha⁻¹); T₅: P + K (3,0 + 2,5 kg ha⁻¹); T₆: P + Mg (3,0 + 2,5 kg ha⁻¹); T₇: K + Mg (3,0 + 2,5 kg ha⁻¹); T₈: P + K + Mg (3,0 + 3,0 + 2,5 kg ha⁻¹). The design was a DBC, in an 8x2 factorial scheme, with two cultivars: C₁; M6210 IPRO and C₂; TMG 7063 IPRO with four repetitions. After 15 days, were performed evaluations of lipid peroxidation (LP), acid invertase (AI), °brix, pod dry mass (MSV), pod number (NV), grain mass, and yield (PROD). For results of (PL) in cultivars (C₁) and (C₂) the largest reduction to control was seen in T₆. Analyzing the activity (AI) in (C₁), T₄ was superior to the others, while in (C₂) T₆ had the increase in relation to the control. °brix showed no significant difference between treatments and cultivars. In (NV), T₄ was superior in the lower stratum (C₁), and there was no statistical difference in (C₂), although there was no statistical difference in the evaluation of the middle and upper strata in either variety. In the evaluation (MSV) in the middle layer, T₄ in (C₁) provided an increase, while T₃ in (C₂) showed the largest response, in the middle layer T₄ in (C₁) had the greatest increment, already in (C₂) T₈ had the largest response, and finally in the upper stratum in (C₁) T₆ showed an increase, in (C₂) T₄ received the largest increase. As for productivity, in (C₁) T₈ stood out, while in (C₂) T₆ showed the greatest increase.

Keywords: Flags. Sucrose translocation. Nutrients via leaf.

1 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é a integrante da família *fabaceae* mais cultivada em todo o mundo, sendo o Brasil um dos maiores produtores dessa oleaginosa. Apesar disso, a média nacional de produtividade dessa cultura é relativamente baixa, chegando a valores de 3.206 kg ha⁻¹ na safra 18/19, segundo dados da CONAB (2018). Diante disso, podendo alcançar 4.200 kg ha⁻¹ amenizando fatores como as condições do ambiente de cultivo, temperatura, regime hídrico, fotoperíodo, fatores químicos e físicos do solo, competição com outras plantas e estresses bióticos e abióticos contribuem para essa depleção da produtividade (SOARES, 2013).

Dessa forma, tem sido observada no campo a aplicação de nutrientes via folha, com o objetivo de minimizar os problemas recorrentes no campo e já citados anteriormente. Normalmente, as aplicações foliares são utilizadas quando o fornecimento via solo é ineficiente ou, em alguns casos, busca-se o enriquecimento nutricional dos frutos produzidos. Ademais, tem sido observado que a aplicação de nutrientes via folha pode causar estímulos fisiológicos nas plantas que podem contribuir para o incremento da produtividade.

Em relação à absorção foliar, os íons são classificados em móveis, imóveis e pouco móveis. Móveis são rapidamente absorvidos e são transportados para outras áreas da folha e para demais parte do vegetal. Em relação ao fósforo (P), ao potássio (K) e ao magnésio (Mg), suas funções fisiológicas se relacionam ao fornecimento de energia, ativação e sinalização de diversas células. O P constitui a moeda universal ATP (adenosina trifosfato), que está contida nas ligações químicas entre os fosfatos. Quando há quebra dessas ligações, ocorre o fornecimento de energia, ativação e sinalização de partículas. Sua aplicação está diretamente ligada à sinalização e não na atenuação da deficiência que a planta expressou. Eventualmente, seu efeito está ligado de forma expressiva na ativação enzimática e na potencialização de sinais em proteínas quinases que, em situações de estresse por temperatura, nutrientes e patógenos, são ativadas. Além disso, seu efeito no transporte de açúcares durante o enchimento de grãos é observado após a aplicação foliar (FAGAN *et al.*, 2016).

Além disso, o potássio (K) tem sido bastante utilizado, visto as suas funções durante o armazenamento de reservas nos grãos. O K atua na ativação da ATPase devido ao seu efeito no balanço de carga. Dessa forma, a síntese de ATP está diretamente ligada à disponibilidade de potássio. Portanto, o transporte de energia da fonte para o dreno durante o enchimento dos grãos depende do potássio, o que pode influenciar a produtividade e a qualidade dos frutos colhidos (MARSCHNER, 2012). Já o magnésio é um elemento essencial para as plantas, sendo um constituinte da molécula de clorofila e atuando na fosforilação, translocação de fotoassimilados e na ativação de múltiplas enzimas, como glutatona sintetase e fosfoenolpiruvato (PEP), carboxilase. Atua ainda no controle do pH nas células e no balanço de cargas, além de ser um constituinte dos ribossomos e cromossomos (CAMMARANO *et al.*, 1972).

Como a soja é um item básico na economia, tecnologias que visam obter melhores resultados para o desenvolvimento da planta são imprescindíveis. Assim sendo, o desenvolvimento do estudo da aplicação de fertilizantes foliares relacionando a potencialização de fatores fenológicos e fisiológicos testa essa busca por melhores resultados.

Diante disso, os fertilizantes foliares à base de macronutrientes têm a capacidade de potencializar os estádios fenológicos da planta, como a época de enchimento de grãos (R₅). Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da aplicação foliar de fósforo, magnésio e potássio na fase reprodutiva em parâmetros bioquímicos, fenométricos e produtividade da cultura de soja.

2 METODOLOGIA

2.1 LOCAL

O ensaio foi conduzido na área experimental da Cooperativa Agropecuária do Alto Paranaíba (COOPADAP), localizada no estado de Minas Gerais, na região do Alto Paranaíba, município de São Gotardo, no período de outubro de 2018 até fevereiro de 2019. O local, segundo a classificação de Köppen e Geiger, apresenta um clima tropical de altitude (Cwa), com precipitação média anual em torno de 1540 mm, sendo a temperatura média anual igual a 20 °C (PEEL *et al.*, 2007).

As avaliações fisiológicas, fenométricas e produtivas foram realizadas no Laboratório do Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP) do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM) em Patos de Minas (MG).

2.2 CULTURA, INSTALAÇÕES E TRATOS CULTURAIS

A cultura selecionada foi a soja [*Glycine max* (L.) Merrill], semeada durante o mês de outubro de 2018. Foram realizadas adubações com cloreto de potássio e fosfato monoamônico de acordo com as necessidades da cultura. Os manejos de plantas daninhas, pragas e doenças foram realizados de acordo com as necessidades determinadas durante o monitoramento da cultura.

2.3 TRATAMENTOS UTILIZADOS

O delineamento experimental foi feito por meio de blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 8x2 composto por duas cultivares (M6210 IPRO e TMG 7063 IPRO) e oito tratamentos (Tabela 1) com quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais. Cada parcela experimental foi composta por seis linhas de sete metros de comprimento com espaçamento entre linhas de 0,5 m, totalizando 21 m². A área útil de cada parcela foi constituída pelas linhas centrais, descartando 0,5 m em cada extremidade da parcela. A área total do experimento foi de 1344 m².

Tabela 1: Descrição dos tratamentos utilizados no ensaio após aplicação foliar de potássio, fósforo e magnésio na fase reprodutiva da cultura de soja. Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG). Safra: 2018/19

Tratamentos	Produto	Épocas de aplicação	Dose (kg ha ⁻¹)
T ₁	Controle	-	-
T ₂	Fósforo* (P)	R _{5.1}	3,0
T ₃	Potássio** (K)	R _{5.1}	3,0
T ₄	Magnésio*** (Mg)	R _{5.1}	2,5
T ₅	P + K	R _{5.1}	3,0 + 2,5
T ₆	P + Mg	R _{5.1}	3,0 + 2,5
T ₇	K + Mg	R _{5.1}	3,0 + 2,5
T ₈	P + K + Mg	R _{5.1}	3,0 + 3,0 + 2,5

*MAP purificado. ** KNO₃. *** MgSO₄.

As aplicações foliares foram realizadas no estágio R_{5.1} com pulverizador costal propelido a CO₂. A barra utilizada contém seis bicos tipo leque, perfazendo 3,25 m de comprimento e com pressão de 2 bar. Para todas as aplicações, foi utilizado volume de calda de 200 L ha⁻¹.

Após aplicação foliar de potássio, fósforo e magnésio na fase reprodutiva, foram realizadas as respectivas avaliações após 21 dias de seu uso.

2.4 PEROXIDAÇÃO DE LIPÍDIOS

Foi determinada de acordo com a técnica de Heath e Packer (1968), citada por Rama Devi e Prasad (1998). Material vegetal (200 mg) liofilizado em nitrogênio líquido foi homogeneizado em 5 mL de solução contendo ácido tiobarbitúrico (TBA) 0,25% e ácido tricloroacético (TCA) 10%. Em seguida, o conteúdo foi transferido para tubos de ensaio com rosca e papel filme e incubado em banho Maria a 90°C por 1 h. Após resfriamento, o homogeneizado foi centrifugado a 10.000 x g por 15 minutos à temperatura ambiente e, em seguida, o sobrenadante coletado de cada amostra foi submetido a leituras de absorvância em espectrofotômetro na faixa de 560 e 600 nm. Os resultados foram expressos em nmol de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) por grama de matéria fresca. A peroxidação lipídica foi realizada aos 15 dias após a aplicação dos tratamentos.

2.5 ATIVIDADE DE INVERTASE ÁCIDA

A atividade da invertase ácida foi realizada seguindo a metodologia descrita por Cairo *et al.* (2005). As folhas foram maceradas com nitrogênio líquido e pesados 100 mg em balança analítica e colocados em tubos falcon de 10 mL contendo 2 mL de tampão para extração. O tampão de extração foi composto por 200 µL de tampão de acetato de sódio pH 4,7 (1,0 M), 100 µL de MgCl₂ (0,1 M) e 400 µL de sacarose (1,0 M); o restante do volume foi completado para 2 mL, com água destilada. As amostras foram colocadas em banho-maria a 37° C, durante 70 minutos. Foram retirados 100 µL de cada amostra, aos 10 e 70 minutos (intervalo de 1 hora), e colocados em tubos falcon contendo 200 µL de uma solução obtida pelo método dinitrosalicílico (DNS) e 100 µL de água, imediatamente submetidos à fervura (100° C), por 10 minutos. Posteriormente, o volume foi completado com água até 2 mL. Por fim, as leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 540 nm. A atividade da enzima foi calculada por meio da curva padrão obtida com glicose. A avaliação de atividade de invertase foi realizada aos 30 dias após a aplicação dos tratamentos.

2.6 °BRIX

Para o teor de sólidos solúveis totais (SST), foram maceradas cerca de 5,0 g de folhas frescas homogeneizadas em álcool, e 50 µL do macerado foram transferidos para o prisma do refratômetro digital (Instrutherm, RT-30ATC, São Paulo, Brasil).

2.7 MASSA DE MATÉRIA SECA DE VAGENS

A determinação de massa de matéria seca de vagens foi realizada no estádio R₆. As determinações de massa de matéria seca foram realizadas utilizando quatro para cada repetição. As partes foram acondicionadas, separadamente, em sacos de papel, e a secagem das diferentes partes da planta foi realizada utilizando-se do método padrão de secagem em estufa com circulação de ar forçada e com temperatura de 65°C, até peso constante.

2.8 PRODUTIVIDADE

A produtividade foi quantificada por meio da colheita manual das plantas considerando as três fileiras centrais. Foi descartado 0,5 m em cada extremidade. Foi determinado o teor de água dos grãos e efetuado o cálculo da produtividade (produção por unidade de área) com o teor de água corrigido para 13% ($0,13 \text{ g g}^{-1}$). Para pesagem dos grãos, foi utilizada uma balança digital com precisão de 0,01 gramas.

2.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software SISVAR® (FERREIRA, 1998). Foi realizada análise de variância em fatorial. As comparações entre as médias foram realizadas por meio do desvio padrão e teste de Tukey a 5% significância.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PEROXIDAÇÃO DE LIPÍDIOS (PL)

Avaliando-se a peroxidação de lipídios nos tratamentos na variedade cultivada M6210 IPRO, não houve diferença estatística, mas nota-se que todos os tratamentos reduziram PL em relação ao controle, sendo a maior redução de 32,73% no tratamento com uso de fósforo (P) + magnésio (Mg) em relação ao controle. Entretanto, na variedade TMG 7063 IPRO, houve diferença estatística entre os tratamentos, com destaque para uso de (P)+(Mg) com redução de 28,78% em comparação ao controle. Ao se avaliar o efeito entre as variedades cultivadas, nas médias, a M6210 IPRO (grupo de maturação 6.2) apresentou redução de 29,11% na peroxidação de lipídios em relação à TMG 7063 IPRO (grupo de maturação 7.0) (Tabela 2).

Tabela 2: Peroxidação lipídica (PL, nmol [TBARS] g⁻¹ MF]) após (20 DAA) a aplicação foliar de potássio, fósforo e magnésio na fase reprodutiva da cultura de soja. Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG). Safra: 2018/19

Tratamentos	Peroxidação lipídica (nmol [TBARS] g ⁻¹ [MF])		
	M6210 IPRO	TMG 7063 IPRO	Média
Controle	99,97aA	121,75abA	110,86
Fósforo (P) (MAP)	84,82aB	117,10abA	100,96
Potássio (K) (KNO ₃)	75,67aB	136,08aA	105,88
Magnésio (Mg) (MgSO ₄)	76,08aB	105,03abA	90,56
P + K	93,55aB	125,63aA	109,59
P + Mg	67,24aA	86,71bA	76,98
K + Mg	84,23aB	138,82aA	111,53
P + K + Mg	89,53aB	115,65abA	102,59
Média	83,89	118,34	-
cv (%)	15,71		
Dms:	35,69*; 22,62**		

* Letras maiúsculas se referem à comparação entre as variedades cultivadas, dentro de cada tratamento, individualmente, enquanto letras minúsculas comparam os diferentes tratamentos, dentro de cada variedade cultivada, pelo teste de Tukey a 5% significância. ns: não significativo. Dms para tratamentos *, para os fatores **

Segundo Fagan *et al.* (2016), a elevada taxa de lipoperoxidação pode induzir efeitos deletérios para as células vegetais, isso porque as espécies reativas que induzem esse processo atuam em ácidos graxos de membrana, resultando na perda de rigidez, integridade e permeabilidade. Esse processo produz compostos carbonílicos como o malondialdeído.

No trabalho realizado por Soares (2016), foi observado que uma cultivar com grupo de maturação 7.1 obteve menor nível de peroxidação lipídica. Diante disso, os resultados observados na variedade TMG 7063 IPRO apresentaram comportamento similar, mesmo sendo do grupo de maturação 7.0 (Tabela 2).

3.2 ATIVIDADE DE INVERTASE ÁCIDA

Analisando-se a atividade da invertase ácida na variedade M6210 IPRO, houve diferença estatística, porém todos os tratamentos foram inferiores ao controle. No entanto, as menores reduções foram proporcionadas pelos tratamentos com uso de (P) e (Mg) isolados, P + Mg e P + K + Mg. Na variedade TMG 7063 IPRO, constou-se diferença estatística, sendo que se sobressaíram em relação ao controle os tratamentos que utilizaram (Mg) e (P) + (Mg) com incremento de 205,93 e 227,96% em relação ao controle, respectivamente. Quanto ao efeito nas variedades cultivadas analisadas, na média, todos os tratamentos na TMG 7063 IPRO (grupo de maturação 7.0) foram superiores a M6210 IPRO (grupo de maturação 6.2), com incremento médio de 93,93 % na atividade de invertase, exceto para o controle. Nesse tratamento, a variedade cultivada TMG 7063 IPRO foi 41,0% inferior à variedade cultivada M6210 IPRO (Tabela 3).

APLICAÇÃO FOLIAR DE POTÁSSIO, FÓSFORO E MAGNÉSIO
NA FASE REPRODUTIVA DA CULTURA DE SOJA

Tabela 3: Atividade de invertase ácida após aplicação foliar de potássio, fósforo e magnésio na fase reprodutiva da cultura de soja. Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG). Safra: 2018/19

Tratamentos	Invertase ácida (mg g ⁻¹ MF)		
	M6210 IPRO	TMG 7063 IPRO	Média
Controle	4,0 aA	2,36 cB	3,18
Fósforo (P) (MAP)	3,27 abB	4,64 bA	3,96
Potássio (K) (KNO ₃)	1,64 bcdA	2,38 cA	2,01
Magnésio (Mg) (MgSO ₄)	3,02 abB	7,22 aA	5,12
P + K	0,64 dB	3,56 bcA	2,10
P + Mg	2,32 abcdB	7,74 aA	5,03
K + Mg	0,94 cdB	4,52 bA	2,73
P + K + Mg	2,58 abcA	3,43bA	3,01
Média	2,31	4,48	-
Cv (%)	25,02		
Dms:	1,91*;1,21**		

* Letras maiúsculas se referem à comparação entre as variedades cultivadas, dentro de cada tratamento, individualmente, enquanto, letras minúsculas comparam os diferentes tratamentos, dentro de cada variedade cultivada, pelo teste de Tukey a 5% significância. ns: não significativo. Dms para tratamentos *, para os fatores **.

Diante disso, o comportamento da atividade de invertase ácida pode estar relacionado ao material genético e grupo de maturação das variedades utilizadas. Na variedade M6210 IPRO, a menor atividade de invertase ácida pode estar relacionada com sua arquitetura. Por ser uma variedade de alto engalhamento, porte semiereto e menor grupo de maturação, além do maior número de vagens, pode contribuir para menor atividade da enzima em relação à cultivar TMG 7063 IPRO (Tabela 2). Diante dos resultados utilizando as aplicações foliares de (P), (Mg) e (P)+(Mg), os dois nutrientes acarretaram maior translocação de sacarose, sinalização e ativação de várias enzimas melhorando a eficiência de sacarose para fruto.

Em muitas plantas, a sacarose é o principal açúcar transportado. A utilização da sacarose como fonte de carbono e energia depende da sua quebra em hexoses, seja pela sacarose sintase ou pelas invertases. As invertases ácidas estão diretamente relacionadas com a partição e armazenamento de carbono em órgãos dreno. As invertases da parede celular são consideradas enzimas chave no descarregamento de sacarose e balanço da relação fonte/dreno nas plantas, por fornecer carboidratos para os órgãos dreno pela via apoplástica. No entanto, as invertases neutras estão mais relacionadas à regulação dos níveis de glicose e frutos intracelular em tecidos maduros, em que a atividade da sacarose sintase é baixa, fornecendo energia para os processos metabólicos celulares (FOTOPOULOS, 2005). Dessa forma, os tratamentos que apresentaram maior atividade de invertases possivelmente continham maior nível de carboidratos sendo direcionados para os frutos, o que pode repercutir na produtividade.

3.3 °BRIX

Quanto ao teor de sólidos solúveis totais (SST), verificou-se que não houve interação e diferença entre os tratamentos dentro de cada cultivar. Para as cultivares, em média, a M6210 IPRO foi 1,4% superior a TMG 7063 IPRO (Tabela 4). O °brix é uma medida indireta que está relacionada ao teor de sólidos solúveis dissolvidos em água, baseando-se nas mudanças de índice de refração da solução. É uma medida amplamente utilizada na qualificação tecnológica do caldo de cana (CONSECANA, 2006) não especificando qual açúcar está presente.

Tabela 4: Teor de sólidos solúveis totais (°brix) após aplicação foliar de potássio, fósforo e magnésio na fase reprodutiva da cultura de soja. Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG). Safra: 2018/19

Tratamentos	Sólidos solúveis totais (°brix)		
	M6210 IPRO	TMG 7063 IPRO	Média
Controle	17,31aA	17,98aA	17,65
Fósforo (P) (MAP)	17,68aA	18,06aA	17,87
Potássio (K) (KNO ₃)	17,67aA	17,93aA	17,80
Magnésio (Mg) (MgSO ₄)	17,91aA	17,95aA	17,93
P + K	17,77aA	17,88aA	17,83
P + Mg	17,80aA	17,91aA	17,86
K + Mg	17,55aA	17,43aA	17,49
P + K + Mg	17,55aA	18,05aA	17,80
Média	17,66	17,90	-
Cv (%)	1,62		
Dms:	0,64*,0,40**		

* Letras maiúsculas se referem à comparação entre as variedades cultivadas, dentro de cada tratamento, individualmente, enquanto letras minúsculas comparam os diferentes tratamentos, dentro de cada variedade cultivada, pelo teste de Tukey a 5% significância. ns: não significativo. Dms para tratamentos *, para os fatores **.

3.4 MASSA DE MATÉRIA SECA DE VAGENS

Em relação à massa de matéria seca de vagens no estrato inferior, houve diferença estatística na variedade cultivada M6210 IPRO. Nesse caso, constatou-se que na aplicação de (Mg) isolado, causou incremento de 144,44 % em relação ao controle (Tabela 5), enquanto na variedade TMG 7063 IPRO, a utilização de (K) isolado teve um acréscimo de 161,90 % em comparação ao controle. Em relação ao efeito entre as variedades cultivadas, na média de todos os tratamentos, a M6210 IPRO (grupo de maturação 6.2) apresentou aumento de 66,66% na massa de matéria seca de vagens em relação a TMG 7063 IPRO (grupo de maturação 7.0). Entretanto o mesmo desempenho não foi observado nos tratamentos (K), (P+K) e controle, onde a variedade cultivada M6210 IPRO apresentou 43,24;40,00 e 16,66% inferior à variedade cultivada TMG 7063 IPRO (Tabela 5).

Avaliando-se o estrato médio na planta, houve diferença estatística. Na variedade cultivada M6210 IPRO, notou-se que o tratamento com uso de (Mg) isolado

obteve o maior incremento de 6,13 % em relação ao controle. Já na variedade cultivada TMG 7063 IPRO, houve diferença estatística, tendo como destaque para uso de (P+K+Mg) um acréscimo de 23,18%. Ao se avaliar o efeito entre as variedades cultivadas, na média de todos os tratamentos, a variedade M6210 IPRO (grupo de maturação 6.2) apresentou aumento de 76,17 % na massa de matéria seca de vagens em relação a TMG 7063 IPRO (grupo de maturação 7.0). Mesmo desempenho foi observado no controle, onde a variedade cultivada M6210 IPRO apresentou 100,0% superior à variedade cultivada TMG 7063 IPRO (Tabela 5).

Finalmente, verificando-se a massa de matéria seca de vagens no estrato superior, foi constatado que houve diferença estatística entre os tratamentos na variedade M6210 IPRO, com destaque com uso de (P+Mg) o maior acréscimo de 28,98 % em comparação ao controle. Na variedade TMG 7063 IPRO, houve diferença estatística, sendo que o maior acréscimo de 4,62 % foi com uso de (Mg) em relação ao controle (Tabela 4).

O fósforo (P) tem sido um dos nutrientes mais limitantes da produtividade das culturas; representa várias funções na planta, desde a respiração, fotossíntese, redução na altura da planta, brotação e desenvolvimento de raízes secundárias, atraso na emergência das folhas, na produção de matéria seca e de sementes. O potássio (K) tem um papel fundamental no estágio fenológico da planta, atuando como regulador osmótico e principalmente na fase R_{5.1}, onde faz a translocação de açúcares para os grãos. Já o magnésio (Mg) possui a característica de promover o melhoramento no fluxo de sacarose das folhas para o órgão dreno (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Em relação ao grupo de maturação nas variedades cultivadas M6210 IPRO (6.2) e TMG 7063 IPRO (7.0), recentemente, Soares (2016) observou que uma cultivar de grupo de maturação 6.7 foi superior em relação à do grupo de maturação 7.1. Outros autores relatam que houve maior taxa de absorção de nitrogênio entre os estádios R₁ e R₅ em cultivares do grupo de maturação III em relação ao V. Sendo assim, podemos afirmar uma resposta significativa às aplicações foliares com uso de macronutrientes para melhorar a eficiência na sinalização de sacarose da folha para a vagem repercutindo em massa de grãos (Tabela 5).

Portanto, os processos que determinam o número de vagens e sementes por área desempenham papel importante na produtividade da cultura (EGLI, 2013). No entanto, o número de sementes e vagens por área tem sido associado com a atividade fotossintética ou a taxa de crescimento da cultura entre os estádios de florescimento (R₁) e enchimento de grãos (R₅) (SCHOU; JEFFERS; STREETER, 1978; JIANG; EGLI, 1993; BOARD; TAN, 1995; EGLI, 2010). Dessa forma, sistemas que buscam aumento da produtividade através do aumento do número de nós e vagens, necessariamente, precisam estar associados a condições que potencializem a atividade fisiológica das plantas durante essas fases.

Tabela 5: Massa de matéria seca de vagens por estrato (g planta⁻¹) após aplicação foliar de potássio, fósforo e magnésio na fase reprodutiva da cultura de soja. Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG). Safra: 2018/19

Tratamento	Massa de matéria seca de vagens (g planta ⁻¹)								
	Estrato inferior			Estrato médio			Estrato superior		
	M6210 IPRO	TMG 7063 IPRO	Média	M6210 IPRO	TMG 7063 IPRO	Média	M6210 IPRO	TMG 7063 IPRO	Média
Controle	0,18 dA	0,21bA	0,20	6,04abA	3,02abcB	4,53	3,66bcdA	3,25abA	3,46
Fósforo (P) (MAP)	0,22 cdA	0,20bcA	0,21	5,28bcA	2,26cB	3,77	3,45cdA	2,50abB	2,98
Potássio (K) (KNO ₃)	0,37abB	0,55aA	0,46	5,66abcA	2,39bcB	4,03	3,99abcdA	2,67abB	3,33
Magnésio (Mg-MgSO ₄)	0,44aA	0,25bB	0,35	6,41aA	3,37abB	4,89	4,15abcA	3,40a	3,78
P + K	0,15dB	0,25bA	0,20	4,59cdA	3,35abcB	3,97	3,20dA	2,83abA	3,02
P + Mg	0,35bA	0,24bB	0,30	3,88dA	2,50cdB	3,19	4,72aA	2,34bB	3,53
K + Mg	0,31bcA	0,11cB	0,21	5,51abcA	3,23abcB	4,27	4,49abA	2,98abB	3,74
P + K + Mg	0,35bA	0,11cB	0,23	4,66cdA	3,72aB	4,19	3,66bcdA	2,97abB	3,32
Média	0,35	0,21	-	5,25	2,98	-	3,92	2,87	-
Cv		14,54			11,83			12,23	
dms	0,87*	0,05**		1,09*	0,69**		0,93*	0,59**	

* Letras maiúsculas se referem à comparação entre as variedades cultivadas, dentro de cada tratamento, individualmente, enquanto, letras minúsculas comparam os diferentes tratamentos, dentro de cada variedade cultivada, pelo teste de Tukey a 5% significância. ns: não significativo. Dms para tratamentos*, para os fatores **.

3.5 NÚMERO DE VAGENS

Em relação à avaliação de número de vagens no estrato inferior na variedade cultivada M6210 IPRO, verificou-se que houve diferença estatística. O tratamento com o maior incremento de 24,97% foi (Mg) em relação ao controle, mas, quando é aplicado (K+Mg), verificou-se um acréscimo de 7,66 % diante do controle. No estrato inferior à variedade TMG 7063 IPRO, não houve diferença estatística, apesar de todos os tratamentos serem inferiores ao controle. Quando se observa o efeito entre as duas variedades cultivadas, a M6210 IPRO se mostrou superior à variedade TMG 7063 IPRO na média de todos os tratamentos; a variedade M6210 IPRO apresentou 343,48% de incremento em relação à variedade TMG 7063 IPRO. Embora, avaliando-se o estrato médio na variedade cultivada M6210 IPRO, não houve diferença estatística, mas nota-se um acréscimo de 6,30 % ao aplicar (K+Mg) com relação ao controle. Enquanto, na variedade cultivada TMG 7063 IPRO, não houve diferença estaticamente, mas quando faz o uso de (Mg), apresentou numericamente de 14,11 % em comparação ao controle. Ao avaliar o efeito entre as variedades cultivadas na média de todos os tratamentos, a M6210 IPRO (grupo de maturação 6.2) apresentou aumento de 92,83 % em número de vagens em relação a TMG 7063 IPRO (grupo de maturação 7.0) (Tabela 6).

Finalmente, avaliando-se estrato superior na variedade cultivada M6210 IPRO, verificou-se que não houve diferença estatística, mas o tratamento (P+Mg) foi superior ao controle, apresentando um acréscimo de 6,71 %. Na variedade TMG 7063 IPRO com relação ao estrato superior, não houve diferença estatística, mas foi verificado com uso (P+K+Mg) nas aplicações foliares um incremento de 13,73% em relação ao controle (Tabela 4). Diante disso, os efeitos entre as variedades cultivadas, na média de todos os tratamentos, a variedade TMG 7063 IPRO (7.0) apresentou superioridade de 17,19% em relação à variedade M6210 IPRO (Tabela 6).

Plantas de soja produzem flores em abundância, no entanto, uma grande proporção destas são abortadas antes de se tornarem vagens. Tem sido relatado que entre 40 e 80% das flores e vagens em desenvolvimento inicial produzidas pela soja são abortadas (OHYAMA *et al.*, 2013). Diante disso, em termos nutricionais, a cultura da soja é bastante exigente em nitrogênio (N) sendo fornecido pela fixação biológica (FBN); outros nutrientes como fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg) tem sua importância, principalmente nos enchimentos de grãos que são elementos chave para obter uma alta produtividade. A aplicação foliar de (P), segundo Fagan *et al.* (2016), promove estímulos na planta que, ao passar por um período de estresse em que absorção radicular é reduzida, promove a ativação enzimática, além disso promove efeitos no transporte de açúcar durante o enchimento; o (K) para a soja promove o aumento da nodulação, do número de vagens por planta, da porcentagem de vagens com grãos, do tamanho da semente, do teor de óleo da semente e a diminuição do número de grãos enrugados (FAGAN *et al.*, 2016).

Tabela 6: Número de vagens por estrato (vagens planta⁻¹) após aplicação foliar de potássio, fósforo e magnésio na fase reprodutiva da cultura de soja. Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG). Safra: 2018/19

Tratamento	Número de vagens (vagens planta ⁻¹)								
	Estrato inferior			Estrato médio			Estrato superior		
	M6210 IPRO	TMG 7063 IPRO	Média	M6210 IPRO	TMG 7063 IPRO	Média	M6210 IPRO	TMG 7063 IPRO	Média
Controle	25,31abcA	7,88aB	16,60	40,81aA	19,06aB	29,94	14,00aA	13,63aA	13,82
Fósforo (P) (MAP)	19,56A	4,81B	12,19	34,31aA	15,69aB	25,00	9,50aA	11,19aA	10,35
Potássio (K) (KNO ₃)	26,19abcA	4,31B	15,25	38,38aA	15,94aB	27,16	10,31aA	13,25aA	11,78
Magnésio (Mg-MgSO ₄)	31,63aA	6,94B	19,29	39,94aA	21,75aB	30,85	11,00aA	13,31aA	24,31
P + K	21,75bcA	4,81B	13,28	35,19aA	19,75aB	27,47	10,88aB	14,56aA	12,72
P + Mg	19,31cA	4,25B	11,78	35,75aA	19,75aB	27,75	14,94aA	14,06aA	14,50
K + Mg	27,25abA	5,50B	16,38	43,38aA	19,44aB	31,41	10,88aA	13,44aA	12,16
P + K + Mg	24,88abcA	5,69B	15,29	40,00aA	20,25aB	30,13	10,69aB	15,50aA	13,10
Média	24,48	5,52	-	38,47	18,95	-	11,52	13,62	-
Cv (%)	20,59				16,46			19,51	
Dms:	6,94*	4,39**		10,61*	6,72**		5,51*	3,49**	

* Letras maiúsculas se referem à comparação entre as variedades cultivadas, dentro de cada tratamento, individualmente, enquanto letras minúsculas comparam os diferentes tratamentos, dentro de cada variedade cultivada, pelo teste de Tukey a 5% significância. ns: não significativo. Dms para tratamentos* e entre os fatores**.

3.6 PRODUTIVIDADE

A maior duração da fase reprodutiva proporcionou maior massa de 1000 grãos na variedade cultivada TMG 7063 IPRO (7.0) em relação a M6210 IPRO (6.2) com incremento de 49,18%. Dentro de cada cultivar, não houve diferença significativa entre os tratamentos. Esses dados mostram que o grupo de maturação pode repercutir em massa, melhorando a eficiência das aplicações em relação ao transporte de sacarose para os grãos (Tabela 6). Tal comportamento pode repercutir em maior produtividade nessa variedade cultivada, visto que essa característica é um dos componentes de produção da soja (OHYAMA *et al.*, 2013).

Tabela 7: Massa de 1000 grãos (M1000, g) e produtividade (kg ha⁻¹) após aplicação foliar de potássio, fósforo e magnésio na fase reprodutiva da cultura de soja. Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). Patos de Minas (MG). Safra: 2018/19

Tratamentos	M1000 (g)			Produtividade (kg ha ⁻¹)		
	M6210 IPRO	TMG 7063 IPRO	Média	M6210 IPRO	TMG 7063 IPRO	Média
Controle	142,99aB	220,33aA	181,66	92,78dA	81,77bcB	87,28
Fósforo (P) (MAP)	145,20aB	216,82aA	181,01	102,10abA	73,67dB	87,98
Potássio (K) (KNO ₃)	145,80aB	216,76aA	181,28	101,36abcA	76,85cdB	90,11
Magnésio (Mg) (MgSO ₄)	145,64aB	213,08aA	179,36	95,27cdA	82,14abcB	88,71
P + K	145,04aB	204,23aA	174,64	99,71abcA	78,43bcdB	89,07
P + Mg	144,43aB	214,38aA	179,41	96,10bcdA	88,52aB	92,31
K + Mg	145,12aB	218,27aA	181,70	97,68abcdA	83,65abB	90,67
P + K + Mg	145,36aB	226,04aA	185,70	103,90aA	82,14abcB	93,02
Média	144,95	216,24		98,61	80,90	
Cv (%)	6,23			3,19		
Dms:	25,27*;16,01**			6,43*; 4,08**		

* Letras maiúsculas se referem à comparação entre as variedades cultivadas, dentro de cada tratamento, individualmente, enquanto letras minúsculas comparam os diferentes tratamentos, dentro de cada variedade cultivada, pelo teste de Tukey a 5% significância. ns: não significativo. Dms para tratamentos *, para os fatores *.

Enquanto foi avaliada a produtividade, observou-se que as variedades cultivadas M6210 IPRO e TMG 7063 IPRO tiveram comportamento contrário quando comparada a massa de 1000 grãos. Sendo assim, na variedade cultivada M6210 IPRO, o tratamento que se sobressaiu entre os demais foi P + K + Mg tendo um incremento de 11,99 % em relação ao controle. Já na variedade TMG 7063 IPRO, o incremento foi de 8,25% em relação ao controle, quando se utilizou P + Mg (Tabela 7). Ao avaliar o efeito entre as variedades cultivadas na média de todos os tratamentos, verificou-se que a variedade M6210 IPRO foi superior à variedade TMG7063 IPRO (Tabela 7).

Segundo Soares (2016), a produtividade de uma cultura é resultado de uma interação entre fatores ambientais (intensidade luminosa, fotoperíodo, temperatura, disponibilidade de água, entre outros), genéticos (potencial produtivo da variedade cultivada, adaptabilidade e capacidade de exploração dos fatores ambientais e de manejo, entre outros) e de manejo (adubação, uso de estimulantes, controle de pragas,

doenças e plantas daninhas, entre outros). Dessa forma, os tratamentos que receberam as aplicações foliares utilizados alteraram a produtividade das plantas por atuarem de forma direta ou indireta em um ou mais fatores.

4 CONCLUSÃO

Em função dos resultados obtidos e do que foi discutido, pôde-se concluir que:

- a aplicação de (P+Mg) proporcionou a menor peroxidação de lipídios nas duas variedades cultivadas;
- a atividade da invertase na variedade M6210 IPRO com a aplicação de (Mg) foi superior; na variedade TMG 7063 a aplicação de (P+Mg) apresentou maior aumento;
- a massa de matéria seca de vagens aumentou com aplicação de (Mg) na cultivar M6210 IPRO, enquanto na variedade TMG 7063 IPRO ao aplicar (K) foi superior;
- a aplicação de (Mg) proporcionou o maior número de vagens no estrato inferior nas variedades cultivadas M6210 IPRO e TMG 7063 IPRO. Para o estrato inferior, a aplicação de (K+Mg) na cultivar M6210 IPRO apresentou maior incremento, enquanto na cultivar TMG 7063 IPRO a aplicação de (Mg) obteve maior resposta. No estrato superior entre as duas variedades cultivadas M6210 IPRO e TMG 7063 IPRO, quando aplicado (P+Mg) e (P+K+Mg), houve maior aumento respectivamente;
- a aplicação de (P+K+Mg) na variedade M6210 IPRO aumentou a produtividade, enquanto na variedade TMG 7063 IPRO a aplicação de (P+Mg) proporcionou aumento na produtividade.

REFERÊNCIAS

BOARD, J. E.; TAN, Q. Assimilatory capacity effects on soybean yield components and pod number. **Crop Science**, Madison, v. 35, p. 846-851, 1995.

CAIRO, P. A. R.; MESQUITA, A. C.; ASHAN, A. Y. K. V.; OLIVEIRA, L. E. M. Análise comparativa das metodologias "in vitro" e "in vivo" para avaliação de atividade das enzimas invertases e sacarose sintase em seringueira [*Hevea brasiliensis* (Wild. ex. Adr. de Juss.) Muell. Arg.]. In: CONGRESO ANUAL DA SOCIEDAD COLOMBIANA DE CONTROL DE MALEZAS Y FISILOGÍA VEGETAL, 35., 2005, Medellín, Colombia. **Anais...** Medellín, 2005. p. 24.

CAMMARANO, P.; FELSANI, A.; GENTILE, M.; GUALERZI, C.; ROMEO, C.; WOLF, G. Formation of active hybrid 80-S particles from subunits of pea seedlings and mammalian liver ribosomes. **Biochemistry Biophysics Acta**, [S. l.], v. 281; p. 625-642, 1972.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. 2018. Disponível em: https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/22459_07172d10b7104ce2765c1734d0f7e857. Acesso em: 28 fev. 2019.

CONSECANA-SP. **Conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do estado de São Paulo-SP**. Normas operacionais de avaliação da qualidade da cana-de-açúcar. 5. ed. Piracicaba, 2006. Disponível em: http://www.orplana.com.br/manual_2006.pdf. Acesso em 28 agosto de 2019.

DAS, K.; ROYCHOUDHURY, A. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 2, p. 1-13, 2014.

EGLI, D. B. Soybean reproductive sink size and short-term reductions in photosynthesis during flowering and pod set. **Crop Science**, Madison, v. 50, p. 1971-1977, 2010.

EGLI, D. B. The relationship between the number of nodes and pods in soybean communities. **Crop Science**, Madison, v. 53, p. 1668-1676, 2013.

FAGAN, E. B.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D.; SOARES, L. H.; DOURADO NETO, D. **Fisiologia vegetal: metabolismo e nutrição mineral**. São Paulo: Andrei, 2016.

FERREIRA, D. F. **Sisvar** - sistema de análise de variância para dados balanceados. Lavras: UFLA, 1998.

FOTOPOULOS, V. Plant invertases: structure, function and regulation of a diverse enzyme family. **Journal of Biological Research**, v. 4, p. 127-137, 2005.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, Dorchester, v. 48, p. 909-930, 2010.

JIANG, H.; EGLI, D. B. Shade induced changes in flower and pod number and fruit abscission in soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, p. 221-225, 1993.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Elsevier, 2012. 643 p.

OHYAMA, T.; MINAGAWA, R.; ISHIKAWA, S.; YAMAMOTO, M.; VAN PHI HUAN, N.; OHTAKE, N.; SUEYOSHI, K.; SATO, T.; NAGUMO, Y.; TAKAHASHI, Y. Soybean seed production and nitrogen nutrition. In: BOARD, J. E. A comprehensive survey of international soybean research: genetics, physiology, agronomy and nitrogen relationships. **Rijeka: InTech**, p. 115-157, 2013.

PEEL, M. C. *et al.* Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. Australia, **Hydrology and Earth System Sciences**, [S. l.], v. 11, p. 1633-1644, 2007.

RAMA DEVI, S.; PRASAD, M. N. V. Copper toxicity in *Ceratophyllum demersum* L. (Coontail), a free-floating macrophyte: response of antioxidant enzymes and antioxidants. **Plant Science**, Amsterdam, v. 138, p. 157-165, 1998.

SCHOU, J. B.; JEFFERS, D. L.; STREETER, J. G. Effects of reflectors, black boards, or shades applied at different stages of plant development on yield of soybeans. **Crop Science**, Madison, v. 18, p. 29-34, 1978.

SOARES, L. H. **Alterações fisiológicas e fenométricas na cultura de soja devido ao uso de lactofen, cinetina, ácido salicílico e boro**. 2016. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

SOARES, L. H. **Manejo fisiológico com base em tratamento de sementes e aplicação de organominerais via foliar para sistemas de alto potencial produtivo de soja**. 2013. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Editora Artmed. Porto Alegre. 5. ed., p. 918, 2013.