

Teresina, PI / Março, 2025

## Acúmulo e exportação de macro e de micronutrientes em grãos de gergelim cultivado sob doses de calcário e gesso em Paragominas, Pará



Henrique Antunes de Souza<sup>(1)</sup>, Edvaldo Sagrilo<sup>(1)</sup>, José Oscar Lustosa de Oliveira Júnior<sup>(1)</sup>, Daiane Conceição de Sousa<sup>(2)</sup>, Christofer Andre Camara Garanhan<sup>(3)</sup>, Samuel Ferreira Pontes<sup>(4)</sup>, Hosana Aguiar de Freitas Andrade<sup>(5)</sup>, Paula Muniz Costa<sup>(6)</sup>, Hilário Júnior de Almeida<sup>(7)</sup>, Maria Juliette Costa Rodrigues<sup>(8)</sup>

<sup>(1)</sup>Pesquisador, Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI. <sup>(2)</sup>Bolsista Pós-Doc, FINEP/Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI. <sup>(3)</sup>Consultor, Agro Performance Consultoria, Paragominas, PA. <sup>(4)</sup>Doutorando, Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI. <sup>(5)</sup>Doutora, Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI. <sup>(6)</sup>Doutoranda, Universidade Federal do Lavras, Lavras, MG. <sup>(7)</sup>Professor substituto, Instituto Federal de Minas Gerais, Rio Pomba, MG. <sup>(8)</sup>Mestranda, Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI.

### Embrapa Meio-Norte

Av. Duque de Caxias, 5.650,  
Bairro Buenos Aires  
Caixa Postal 01  
64008-480 Teresina, PI  
www.embrapa.br/meio-norte  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

#### Comitê Local de Publicações

Presidente  
*Braz Henrique Nunes Rodrigues*

Secretária-executiva  
*Edna Maria Sousa Lima*

Membros  
*Lígia Maria Rolim Bandeira,  
Orlane da Silva Maia, Maria  
Eugênia Ribeiro, Kaesel Jackson  
Damasceno Silva, Ana Lúcia  
Horta Barreto, José Oscar  
Lustosa de Oliveira Júnior,  
Marcos Emanuel da Costa  
Velooso, Flávio Favaro Blanco,  
Francisco de Brito Melo, Izabella  
Cabral Hassum, Tânia Maria Leal,  
Francisco das Chagas Monteiro e  
José Alves da Silva Câmara*

Edição executiva  
*Lígia Maria Rolim Bandeira*

Revisão de texto  
*Francisco de Assis David da Silva*

Normalização bibliográfica  
*Orlane da Silva Maia (CRB-3/915)*

Projeto gráfico  
*Leandro Sousa Fazio*

Diagramação  
*Jorimá Marques Ferreira*

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

**Resumo:** O gergelim vem sendo cultivado como cultura de segunda safra (safrinha) na região do leste paraense, impulsionado pela elevada demanda pelo grão. Devido ao ciclo adequado à safrinha e à sua baixa necessidade hídrica e por nutrientes, a espécie é cultivada após a colheita da soja sem aplicação de fertilizantes. Entretanto, não existem informações sobre a exportação de nutrientes por essa cultura na região. Objetivou-se com o presente estudo avaliar o acúmulo e exportação de nutrientes nos grãos de gergelim cultivados em safrinha no leste paraense, em função de doses de calcário e da aplicação de gesso. O experimento foi conduzido na Fazenda Trianom, Paragominas, PA, em delineamento experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial 5 x 2, com cinco doses de calcário: 0,0; 3,3; 6,6; 9,9; e 13,2 t ha<sup>-1</sup>, e a presença (1 t ha<sup>-1</sup>) ou a ausência de gesso, com quatro repetições. A dose de referência de calcário foi de 3,3 t ha<sup>-1</sup>, considerando-se a elevação da saturação por bases para 80% e a aplicação de calcário com PRNT de 92,6%. O gergelim foi semeado a lanço em maio de 2023, após a colheita da soja, utilizando-se 10 kg ha<sup>-1</sup> de sementes (cultivar IP 011) e aplicação a lanço de 100 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 21-00-21. A colheita foi realizada em julho de 2023 e os grãos foram analisados quanto aos teores de macro e de micronutrientes. A aplicação de calcário influenciou os teores e o acúmulo de nutrientes nos grãos de gergelim, principalmente de Ca e de Mg, com valores máximos observados com as doses de 8,9 e de 4,8 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A ordem decrescente de acúmulo de macronutrientes nos grãos foi N > Ca > P > K > Mg > S, enquanto a de micronutrientes foi Fe > Zn > Mn > B > Cu. Para cada tonelada de gergelim colhida, há a necessidade de reposição, em média, de 42,7; 5,9; 4,1; 10,0; 3,2; e 2,1 kg de N, P, K, Ca, Mg e S; e de 430, 34, 19 e 12 g de Fe, Zn, Mn e Cu, respectivamente.

**Palavras-chave:** *Sesamum indicum*, calagem, gessagem, reposição de nutrientes.

## Accumulation and export of macro and micronutrients in grains of sesame cultivated under doses of limestone and gypsum in Paragominas, Pará

**Abstract:** Sesame has been cultivated as an off-season crop (safrinha) in Eastern Pará state, Brazil, boosted by the great demand by this grain. Due to its plant cycle suitable as an off-season crop, its low water and nutrients requirements, this species is usually cultivated after soybean harvest, without the use of fertilizers. However, there is no information on the nutrient export by this crop in the region. The aim of this study was to evaluate the accumulation and export of nutrients from grains of sesame cultivated in the off-season in eastern Pará, as a function of doses of limestone and gypsum. The experiment was carried out at Trianom Farm in Paragominas, PA, using a randomized blocks design in a 5 x 2 factorial scheme, with five limestone doses (0, 3.3, 6.6, 9.9 and 13.2 t ha<sup>-1</sup>), in the absence and presence of gypsum (1 t ha<sup>-1</sup>), with four replications. The limestone reference dose was 3.3 t ha<sup>-1</sup>, considering the elevation of base saturation to 80% and the use of limestone with a neutralizing power of 92.6%. Sesame was sown by broadcast in May 2023, after soybean harvest, at a seeding rate of 10 kg ha<sup>-1</sup> (cultivar IP 011) and with broadcast application of 100 kg ha<sup>-1</sup> of NPK 21-00-21. The Harvest was performed in July 2023 and the grains were analyzed for macro and micronutrients concentration. Application of limestone influenced the concentration and accumulation of nutrients in sesame grains, mainly Ca and Mg, with maximum values observed at doses of 8.9 and 4.8 t ha<sup>-1</sup>, respectively. The decreasing order of macronutrients accumulation in the grains was: N > Ca > P > K > Mg > S, while that of micronutrients was: Fe > Zn > Mn > B > Cu. For each ton of sesame harvested there is an average reposition need of 42.7; 5.9; 4.1; 10.0; 3.2 and 2,1 kg of N, P, K, Ca, Mg and S, and of 430, 34, 19 e 12 g of Fe, Zn, Mn and Cu, respectively.

**Key words:** *Sesamum indicum*; lime; gypsum; nutrients supply

## Introdução

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) pertence à família das Pedaliáceas e é considerado a oleaginosa mais antiga cultivada pelo homem (Shankar et al., 2020). Atualmente, o seu cultivo se concentra principalmente nas regiões tropicais e subtropicais, devido ao seu elevado valor econômico e inúmeros benefícios nutricionais para humanos e animais. A semente é composta por 27,9 a 62,7% de óleo, 16,7 a 27,8% de proteína, 13,5% de carboidratos, além de minerais e vários antioxidantes (Dossou et al., 2023; Santos et al., 2024; Wang et al., 2024). Como parte das tendências globais, o consumo de gergelim vem-se tomando cada vez mais frequente. Estima-se que o mercado de grãos de gergelim alcance US\$ 7,67 bilhões de dólares em 2024 e US\$ 8,72 bilhões de dólares em 2029, sugerindo aumento da demanda no mercado global (Golan et al., 2022; Mordor Intelligence, 2025).

Na América do Sul, o Brasil se destaca como maior produtor de gergelim (Mordor Intelligence, 2025), o que tem refletido nas expressivas exportações. Embora o gergelim seja considerado resistente a condições de déficit hídrico (Bastug et al., 2021) e apresentar boa adaptabilidade a condições de elevada temperatura (Jahan; Nassiri-Mahallati, 2022), o seu cultivo no Brasil ocorre predominantemente como segunda safra (safrinha), sobretudo em regiões tropicais como o leste paraense.

Nessa região, o cultivo é feito em sequeiro, o que constitui um fator limitante para a obtenção do seu máximo potencial produtivo. Outro aspecto que envolve a limitação de elevadas produtividades do gergelim diz respeito ao manejo da adubação (Golan et al., 2022). Estudos que desvendem o manejo nutricional adequado e impulsionem o cultivo dessa oleaginosa como cultura comercial ainda são limitados (Dossa et al., 2017). O potencial produtivo do gergelim depende da disponibilidade adequada de nutrientes no solo (Perin et al., 2010; Santos et al., 2018). Alguns poucos estudos revelam a seguinte ordem decrescente da extração de macronutrientes pela cultura do gergelim (N > K > Ca > P > Mg), mas exibem divergências quanto à quantidade e à ordem de exportação de nutrientes pelos grãos (Baskar et al., 2017; Laurentin; Rodriguez, 2020). Embora outros estudos também possam ser considerados (Corrêa et al., 1995; Ribeiro et al., 2019), as informações disponíveis ainda são insuficientes,

havendo a necessidade de direcionar esforços para mensurar a exportação de nutrientes pelos grãos de gergelim em condições específicas, de acordo com o ambiente, manejo e cultivar.

A eficácia dos sistemas de cultivo envolvendo gergelim depende do gerenciamento adequado da fertilização. Isso ocorre porque parte dos nutrientes extraídos do solo pelo gergelim retorna ao solo após a decomposição da biomassa, podendo ser absorvida pela cultura agrícola subsequente, e a outra parte é removida da lavoura pela colheita dos grãos. Esse aspecto reveste-se de grande relevância, principalmente porque o cultivo do gergelim em safrinha é comumente realizado sem adubação, com as plantas desenvolvendo-se à custa do efeito residual dos nutrientes aplicados no cultivo antecedente da soja, podendo levar à sua exaustão no solo. Como a quantidade de nutrientes removida é a função direta da quantidade de biomassa produzida e da concentração de nutrientes do produto colhido, aumentar um ou ambos os parâmetros pode aumentar a quantidade total do nutriente removido da lavoura (Tewolde et al., 2021). Portanto, ainda é necessário realizar estudos que otimizem a inclusão do gergelim em sistemas de cultivo (Wacal et al., 2024) e que permitam compreender os fatores que influenciam a variação das concentrações de nutrientes nos grãos (Tamagno et al., 2017). Baseado nisso, o cálculo da exportação de nutrientes pelos grãos de gergelim em sistemas de cultivo é uma

ferramenta útil para estabelecer o excedente ou o déficit de certos elementos nutricionais (Hospodarenko et al., 2022) e, dessa forma, orientar a recomendação de fertilizantes para a cultura subsequente em função da exportação de nutrientes (Salvagiotti et al., 2021).

Com base nessas considerações, o presente estudo teve como objetivo avaliar o teor e o acúmulo de nutrientes em grãos de gergelim cultivado em condições de safrinha no município de Paragominas, no leste paraense, em função de doses de calcário e de gesso.

O presente estudo contribui diretamente para o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável) da Agenda 2030 da ONU, notadamente para a Meta 2.4, que visa garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes que aumentem a produtividade e a produção, contribuindo para a manutenção dos ecossistemas e para a melhoria da qualidade do solo.

## Material e métodos

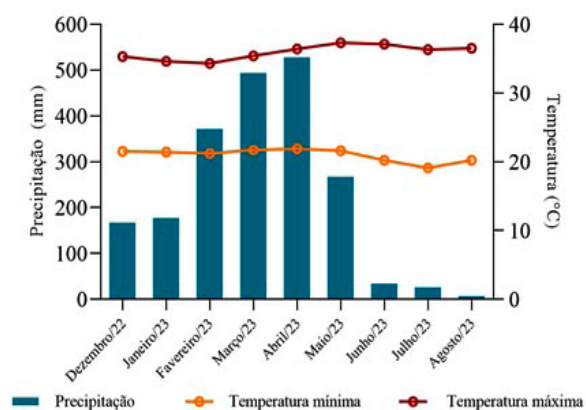
O estudo foi conduzido na Fazenda Trianom, em Paragominas, PA ( $2^{\circ}56'S$ ;  $47^{\circ}26'W$ ; 90 m de altitude), na safra 2022/2023 (Figura 1), em Latossolo Amarelo (60% de argila), cujas características estão apresentadas na Tabela 1. Os valores médios de precipitação e de temperatura do ar do período experimental estão apresentados na Figura 2.



Figura 1. Localização da área experimental, Paragominas, PA, Brasil.

**Tabela 1.** Atributos químicos do solo da área experimental. Paragominas, PA, 2023.

Atributo	Unidade	0-20 cm	20-40 cm
pH	-	5,46	4,58
MO	g kg <sup>-1</sup>	1,95	1,97
P resina	mg dm <sup>3</sup>	6,83	8,41
K	mmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>	1,46	1,83
Ca	mmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>	12,42	12,68
Mg	mmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>	7,3	7,6
Al	cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>	0,58	0,59
H+Al	mmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>	43,27	42,43
SB	mmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>	21,18	22,11
CTC	mmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>	64,45	64,54
V	%	32,8	34,2
m	%	5,7	5,4
S	mg dm <sup>3</sup>	18,00	16,28
B	mg dm <sup>3</sup>	0,21	-
Cu	mg dm <sup>3</sup>	0,41	-
Fe	mg dm <sup>3</sup>	73,4	-
Mn	mg dm <sup>3</sup>	12,18	-
Zn	mg dm <sup>3</sup>	0,75	-



**Figura 2.** Médias de precipitação e de temperaturas mínima e máxima do período experimental. Paragominas, PA.

A aplicação dos tratamentos com calcário e gesso foi realizada em dezembro de 2022, em área anteriormente ocupada por pastagem. Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 5 x 2, com cinco doses de calcário: 0,0; 3,3;

6,6; 9,9; e 13,2 t ha<sup>-1</sup>), ausência e presença de gesso (1 t ha<sup>-1</sup>) e quatro repetições. A dose de referência de calcário foi de 3,3 t ha<sup>-1</sup>, considerando-se o cálculo para elevação da saturação por bases para 80% e aplicação de calcário com PRNT de 92,6% (PN = 98,75%, RE = 93,8%, CaO = 33,9% e MgO = 18,4%). Em relação à dose de gesso, considerou-se a aplicação de aproximadamente 30% da dose de referência de calcário. As parcelas apresentaram dimensões de 8 x 8 m (64 m<sup>2</sup>). O calcário e o gesso foram aplicados juntos e incorporados com grade 32'', seguida de grade niveladora. Em janeiro de 2023, foi cultivada a soja e após a colheita, em maio, foi realizada a semeadura do gergelim, utilizando-se 10 kg ha<sup>-1</sup> de sementes da cultivar IP 011 e aplicação a lanço de 100 kg ha<sup>-1</sup> de NPK 21-00-21. A colheita foi realizada em julho de 2023, ocasião em que foram coletados os grãos para estimativa da produtividade (corrigida para umidade a 13%), com posterior análise dos teores de macro e de micronutrientes.

O teor de N foi determinado pelo método Kjeldahl, com a digestão em ácido sulfúrico em presença de catalisadores. Os nutrientes P, K, Ca, Mg e S foram mineralizados por digestão nitroperclórica. O teor de P foi determinado por colorimetria, K por fotometria de chama, S por turbidimetria e Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica (Bataglia et al., 1983). Os micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn foram mineralizados por digestão nitroperclórica, cujo teor foi determinado por espectrofotometria de absorção atômica. O teor de B no tecido vegetal foi determinado pelo método da azometina-H (Bataglia et al., 1983). De posse dos teores de nutrientes, foram realizados os cálculos para o acúmulo de nutrientes por meio da multiplicação da produção de biomassa seca pelo teor do nutriente (Pittelkow et al., 2012; Souza et al., 2023).

Após a exclusão de outliers (box-plot), foi realizada a análise de variância e quando os atributos apresentaram efeito significativo, foi procedida à análise de regressão para doses de calcário e teste 't' para os tratamentos com presença e ausência de gesso. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software SISVAR (Ferreira, 2019).

## Resultados e discussão

### Teor de nutrientes

Os teores de N, P, S, B, Fe, Mn e Zn nos grãos não foram influenciados pelas doses de calcário e gesso aplicadas. Contudo, em relação a Ca e Mg, verificou-se efeito significativo nos teores em função da calagem e gessagem isoladamente. Houve ainda alteração significativa dos teores de K em função da aplicação de gesso e dos teores de Cu em função das doses de calcário. Não foi observado efeito da interação entre calagem e gessagem em relação a nenhum dos nutrientes (Tabela 2).

A não verificação de significância para o teor de enxofre em função da aplicação de gesso nos grãos de gergelim pode ser justificada pelas elevadas concentrações desse nutriente verificadas nas camadas de 0-20 e de 20-40 cm antes da instalação do experimento.

A variação dos teores de Ca e de Mg permitiu o ajuste de modelos quadráticos, enquanto em relação ao Cu, foi ajustado um modelo linear. De acordo com o modelo, houve incremento dos teores de Ca até a dose de 8,9 t ha<sup>-1</sup> de calcário (Figura 3). Quanto ao

Mg, no entanto, o incremento ocorreu até a dose de 4,8 t ha<sup>-1</sup> (Figura 4). Em relação ao Cu, os maiores valores foram verificados com a maior dose aplicada, de 13,2 t ha<sup>-1</sup> (Figura 5).

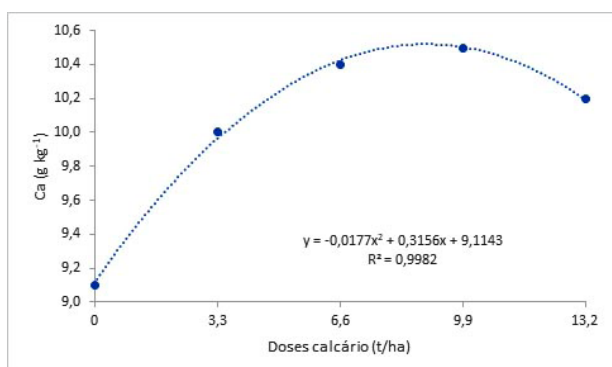
A resposta dos teores de K, de Ca e de Mg em função da aplicação de gesso apresentou comportamento de resposta similar, com redução das médias na presença do corretivo. Foi observada redução dos teores de K, passando de 4,1 para 3,9 g kg<sup>-1</sup>; de Ca, passando de 10,4 para 9,7 g kg<sup>-1</sup>; e de Mg, passando de 3,2 para 3,1 g kg<sup>-1</sup>, com a aplicação de 1 t ha<sup>-1</sup> de gesso (Figura 6).

A redução dos teores de K e de Mg nos grãos de gergelim com a aplicação de gesso está possivelmente associada à competição desses elementos (no complexo de troca – sítios de adsorção) com o cálcio contido no gesso. Por sua vez, o menor teor de cálcio nos grãos com a aplicação de gesso não era um resultado esperado, podendo ser justificado pelo deslocamento vertical desse nutriente para camadas mais profundas, devido à maior solubilidade do gesso em relação ao calcário, ou seja, o primeiro insumo a reagir foi o gesso em relação ao calcário.

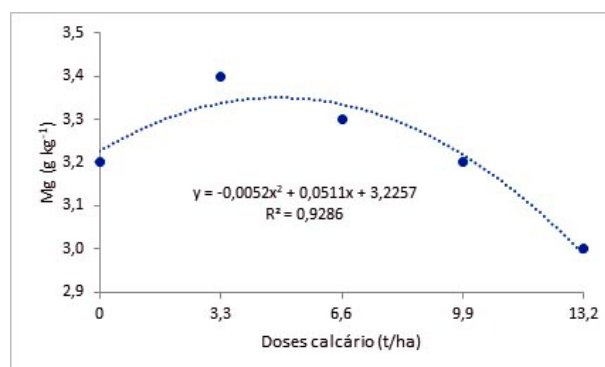
**Tabela 2.** Resumo da análise de variância referente ao teor de nutrientes em grãos de gergelim em função de níveis de calcário e a aplicação de gesso. Paragominas, PA, 2023.

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>				
Média (calcário x gesso)	42,7	5,9	4,1	10,0	3,2	2,1	16	12	430	19	34
Teste F											
Calcário	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	**	ns	ns	ns
Gesso	ns	ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Cal x Ges	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	2,9	8,1	10,3	9,7	5,5	33,4	23,6	11,3	45,5	21,5	10,5

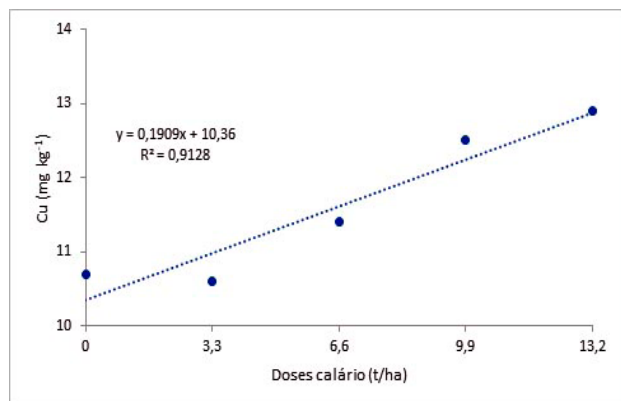
ns Não significativo. \*Significativo a 5% de probabilidade. \*\* Significativo a 1% de probabilidade.



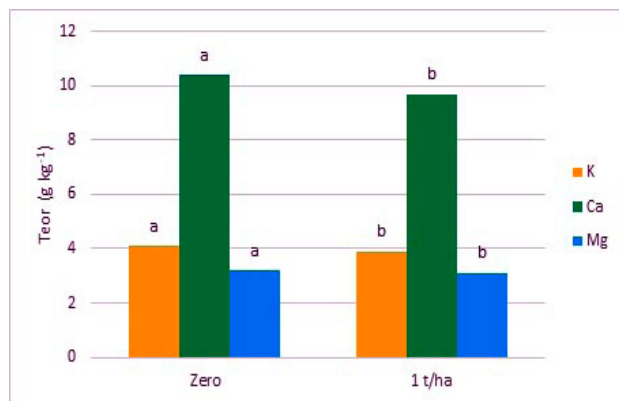
**Figura 3.** Teores de Ca em grãos de gergelim em função de doses de calcário. Paragominas, PA, 2023.



**Figura 4.** Teores de Mg em grãos de gergelim em função de doses de calcário. Paragominas, PA, 2023.



**Figura 5.** Teores de Cu em grãos de gergelim em função de doses de calcário. Paragominas, PA, 2023.



**Figura 6.** Teores de K, de Ca e de Mg em grãos de gergelim em função da presença ou da ausência de gesso. Paragominas, PA, 2023.

Médias seguidas por letras diferentes nas colunas com cores iguais diferem entre si pelo teste 't' (5% de probabilidade).

### Acumulo de nutrientes

Os acúmulos de N, de Fe e de Zn não foram influenciados pela aplicação de doses de calcário e gesso. A não diferença com a calagem e gessagem para o acúmulo de N nos grãos pode ser justificado pela possível mineralização de matéria orgânica do solo, e conseqüentemente de N, pela aplicação do calcário (aceleração da mineralização devido à melhoria do pH do solo). Quanto ao Fe e ao Zn, possivelmente as concentrações desses nutrientes no solo minimizaram algum impacto na nutrição do gergelim com calagem/gessagem. Contudo, em relação a P, K, Ca, Mg, S, B e Cu, os acúmulos foram alterados pela calagem, enquanto a gessagem alterou os acúmulos de Cu e de Mn nos grãos. Não houve efeito da interação entre calagem e gessagem para nenhum nutriente avaliado (Tabela 3).

Os dados referentes ao acúmulo de P (Figura 7), K (Figura 8), Ca (Figura 9), Mg (Figura 10), S (Figura 11) e B (Figura 12) permitiram o ajuste de modelos quadráticos, cujos pontos de máximo acúmulo nos grãos foram verificados com as doses de calcário de 9,1; 9,2; 8,7; 7,2; 9,1; e 7,9 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Quanto aos dados referentes ao acúmulo de Cu, foi ajustado um modelo linear crescente (Figura 13).

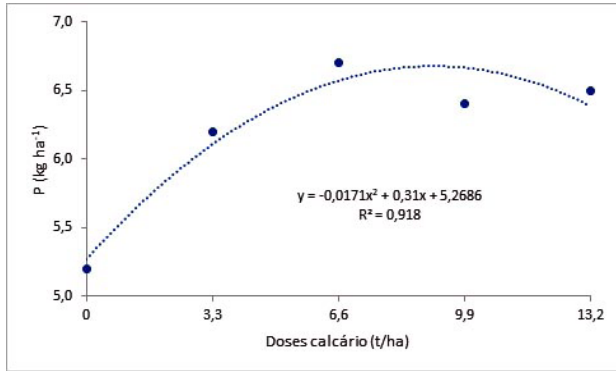
Os dados referentes aos acúmulos de Cu e de Mn nos grãos em função da aplicação de gesso mostraram comportamento de respostas similares, com incremento em função da aplicação do corretivo, o que pode ser em parte justificado pela presença desses nutrientes na constituição do insumo. Foi observado aumento nos acúmulos de Cu, com valores passando de 11,3 para 13,1 g ha<sup>-1</sup>, e de Mn, com valores passando de 19,0 para 22,0 g ha<sup>-1</sup>, na presença de 1 t ha<sup>-1</sup> de gesso (Figura 14).

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância referente ao acúmulo de nutrientes em grãos de gergelim em função de níveis de calcário e presença de gesso. Paragominas, PA, 2023.

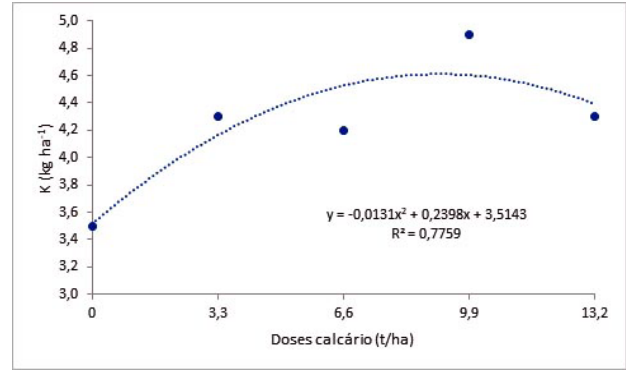
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	kg ha <sup>-1</sup>						g ha <sup>-1</sup>				
<b>Média (calcário x gesso)</b>	44,7	6,2	4,3	10,5	3,4	2,3	17	12	456	20	35
Teste F											
Calcário	ns	*	*	*	*	*	*	*	ns	ns	ns
Gesso	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	ns
Cal x Ges	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	14,8	16,2	17,5	20,9	17,2	35,9	27,3	17,9	51,1	25,4	17,2

ns Não significativo. \* Significativo a 5% de probabilidade.

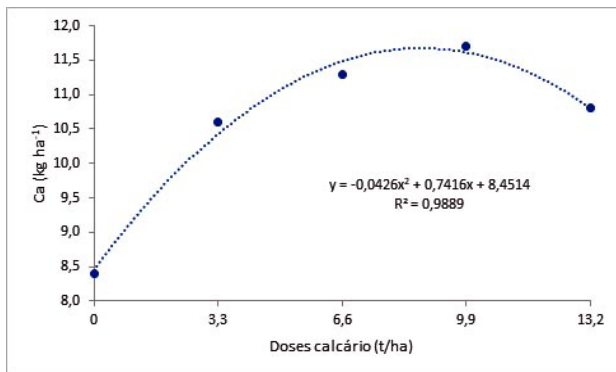
Rendimento de grãos de gergelim: média geral – 1.047 kg ha<sup>-1</sup>.



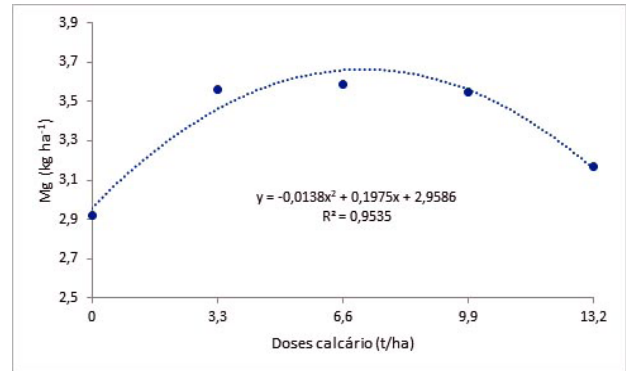
**Figura 7.** Acúmulo de P em grãos de gergelim em função de doses de calcário. Paragominas, PA, 2023.



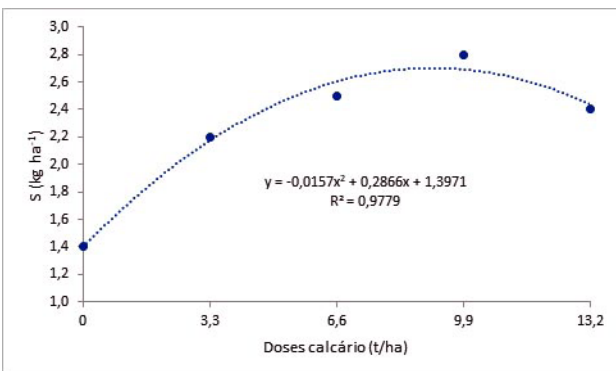
**Figura 8.** Acúmulo de K em grãos de gergelim em função de doses de calcário. Paragominas, PA, 2023.



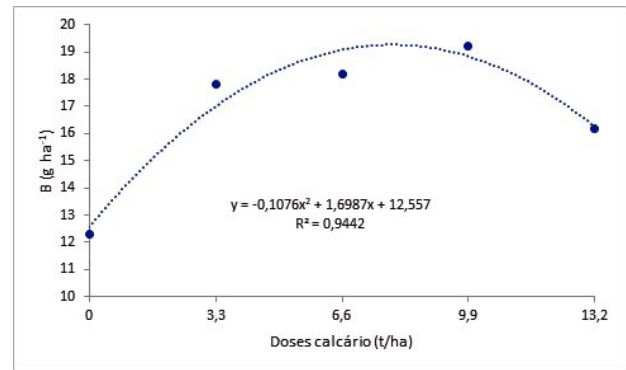
**Figura 9.** Acúmulo de Ca em grãos de gergelim em função de doses de calcário. Paragominas, PA, 2023.



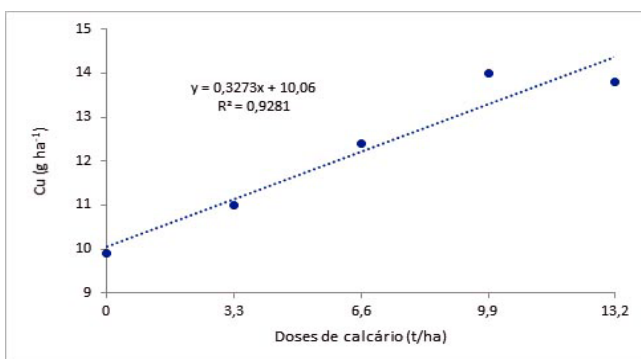
**Figura 10.** Acúmulo de Mg em grãos de gergelim em função de doses de calcário. Paragominas, PA, 2023.



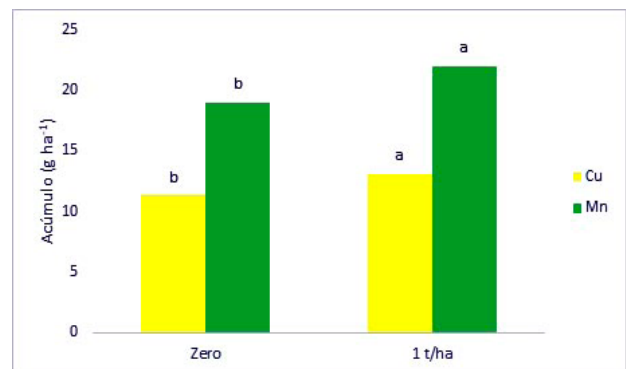
**Figura 11.** Acúmulo de S em grãos de gergelim em função de doses de calcário. Paragominas, PA, 2023.



**Figura 12.** Acúmulo de B em grãos de gergelim em função de doses de calcário. Paragominas, PA, 2023.



**Figura 13.** Acúmulo de Cu em grãos de gergelim em função de doses de calcário. Paragominas, PA, 2023.



**Figura 14.** Acúmulos de Cu e de Mn em grãos de gergelim em função de doses de gesso. Paragominas, PA, 2023. Médias seguidas por diferentes letras em colunas da mesma cor diferem entre si pelo teste 't' (5% de probabilidade).

A ordem decrescente da média de acúmulo de macronutrientes nos grãos de gergelim cultivados em Paragominas foi  $N > Ca > P > K > Mg > S$ , enquanto a de micronutrientes foi  $Fe > Zn > Mn > B > Cu$ . Conhecer a ordem das dimensões de acúmulo de nutrientes é importante para auxiliar no manejo da adubação, uma vez que esses dados refletem a magnitude das exportações de nutrientes pelos grãos (Souza et al., 2023).

Dessa forma, conhecer a exportação de nutrientes pelos grãos de gergelim é condição essencial para planejar a reposição dos nutrientes ao solo (adubação de sistema), como forma de garantir a manutenção da sua fertilidade. Assim, considerando-se a importância da reposição de nutrientes no sistema e de acordo com os dados referentes ao teor e o acúmulo de nutrientes nos grãos para cada tonelada de gergelim colhida, há a necessidade de reposição, em valores médios, de 42,7 kg de N, 10,0 kg de Ca, 5,9 kg de P, 4,1 kg de K, 3,2 kg de Mg e

2,1 kg de S. Quanto aos micronutrientes, para cada tonelada de gergelim colhida, há a necessidade de reposição de 430 g de Fe, 34 g de Zn, 19 g de Mn, 16 g de B e 12 g de Cu. Na Tabela 4, são apresentados os valores médios de exportação de nutrientes em função das doses de calcário aplicadas e dos rendimentos de grãos.

As doses de calcário aplicadas influenciaram os teores de Ca e de Mg nos grãos pelo fato de o insumo apresentar em sua constituição óxidos de cálcio (CaO) e de magnésio (MgO). A diferença verificada para o ponto de máxima desses dois nutrientes está possivelmente associada à relação 2:1 de Ca e de Mg do calcário. Por sua vez, o aumento do teor de cobre nos grãos em função das doses crescentes de calcário pode ser explicado pela possível presença desse micronutriente no calcário. Outros trabalhos com doses elevadas de calcário também reportaram aumentos dos teores foliares de Cu em soja (Oliveira et al., 2024)

**Tabela 4.** Valores médios de produtividade e de exportação de macro e de micronutrientes em função de doses de calcário. Paragominas, PA, 2023.

Dose --- t ha <sup>-1</sup> ---	Prod	kg t <sup>-1</sup>										
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
0	0,90	39,3	5,4	3,8	9,2	2,9	1,9	14,7	11,0	395,6	17,5	31,3
3,3	1,05	44,8	6,2	4,3	10,5	3,4	2,2	16,8	12,6	451,5	20,0	35,7
6,6	1,10	46,5	6,4	4,5	10,9	3,5	2,3	17,4	13,1	467,8	20,7	37,0
9,9	1,12	47,6	6,6	4,6	11,2	3,6	2,3	17,8	13,4	479,5	21,2	37,9
13,2	1,07	45,5	6,3	4,4	10,7	3,4	2,2	17,0	12,8	458,0	20,2	36,2

Os valores apresentados de cada dose de calcário referem-se à média das doses de gesso: 0 e 1 t ha<sup>-1</sup>.

## Conclusões

- A aplicação de calcário e gesso influencia os teores e acúmulos de nutrientes, principalmente nos teores de Ca e de Mg nos grãos de gergelim.
- A ordem decrescente média para acúmulo de macronutrientes nos grãos foi  $N > Ca > P > K > Mg > S$  e para acúmulo de micronutrientes foi  $Fe > Zn > Mn > B > Cu$ .
- Para cada tonelada de gergelim colhida, há a necessidade de reposição de 42,7 kg de N, 10,0 kg de Ca, 5,9 kg de P, 4,1 kg de K, 3,2 kg de Mg e 2,1 kg de S; e de 430 g de Fe, 34 g de Zn, 19 g de Mn, 16 g de B e 12 g de Cu.

## Agradecimentos

À FINEP: FNDCT/CT- AGRO/FINEP (Convênio 01.22.0080.00, Ref. 1219/21).

## Referências

BASKAR, M.; SOLAIMALAI, A.; KUMAR, A.; PALANISAMY, A. Residual effect of fly ash, farmyard manure and fertilizers applied to groundnut on growth parameters, nutrient uptake, yield of sesame and post-harvest soil available fertility status in groundnut-sesame cropping

system in northeastern zone of Tamil Nadu. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 6, p. 2917-2923, 2017.

BASTUG, R.; KARACA, C.; BUYUKTAS, D.; AYDINSAKIR, K.; DINC, N. The effects of deficit irrigation practices on evapotranspiration, yield and quality characteristics of two sesame varieties (*Sesamum indicum* L.) grown in lysimeters under the Mediterranean climate conditions. **Irrigation Science**, v. 39, p. 587-606, 2021.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: IAC, 1983. 48 p. (IAC. Boletim Técnico, 78).

CORRÊA, M. J. P.; SANTOS, R. A. dos; FERNANDES, V. L. B.; ALMEIDA, F. C. G. Absorção de macronutrientes (NPK) pela cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.) cv. JORI. **Ciência Agrônômica**, v. 26, n. 1/2, p. 30-33, 1995.

DOSSA, K.; DIOUF, D.; WANG, L.; WEI, X.; ZHANG, Y.; NIANG, M.; FONCEKA, D.; YU, J.; MMADI, M. A.; YEHOUESSI, L. W.; LIAO, B.; ZHANG, X.; CISSE, N. The emerging oilseed crop *Sesamum indicum* enters the "Omics" era. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, article 1154, June 2017.

DOSSOU, S. S. K.; XU, F. T.; DOSSA, K.; RONG, Z. H. O. U.; ZHAO, Y. Z.; WANG, L. H. Antioxidant lignans sesamin and sesamol in sesame (*Sesamum indicum* L.): a comprehensive review and future prospects. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 22, n. 1, p. 14-30, 2023.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Brazilian Journal of Biometrics**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

GOLAN, E.; PELEG, Z.; TIETEL, Z.; EREL, R. Sesame response to nitrogen management under contrasting water availabilities. **Oil Crop Science**, v. 7, n. 4, p. 166-173, 2022.

HAMEDANI, N. G.; GHOLAMHOSEINI, M.; BAZRAFESHAN, F.; AMIRI, B.; HABIBZADEH, F. Variability of root traits in sesame genotypes under different irrigation regimes. **Rhizosphere**, v. 13, article 100190, Mar. 2020.

HOSPODARENKO, H.; LIUBYCH, V.; OLIINYK, O.; POLIANETSKA, I.; SILIFONOV, T. Influence of fertilization on the crop rotation productivity and the balance of essential nutrients in the soil. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v. 75, n. 2, p. 9919-9928, 2022.

JAHAN, M.; NASSIRI-MAHALLATI, M. Modeling the response of sesame (*Sesamum indicum* L.) growth and development to climate change under deficit irri-

gation in a semi-arid region. **PLoS Climate**, v. 1, n. 6, e0000003, 2022.

LAURENTIN, H.; RODRIGUEZ, V. Nutrient accumulation, partitioning, and remobilization by two sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars. **Journal of Agricultural Sciences-Sri Lanka**, v. 15, n. 2, p. 188-197, 2020.

MORDOR INTELLIGENCE. **Sesame market: size, share and industry analysis - growth trends and forecasts (2025 - 2030)**. Hyderabad, ©2025. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/sesame-seeds-market>. Acesso em: 20 jan. 2025.

OLIVEIRA, D. B. de; LACERDA, J. J. de J.; CAVALCANTE, A. P.; BEZERRA, K. G.; SILVA, A. P. M. da; MIRANDA, A. C. G.; RAMBO, T. P.; MASCHIO, R.; ANDRADE, H. A. F. de; COSTA, P. M.; SOUSA, C. A. F. de; OLIVEIRA JÚNIOR, J. O. L. de; SAGRILO, E.; SOUZA, H. A. de. Lime and Gypsum rates effects in new soybean areas in the Cerrado of Matopiba, Brazil. **Agriculture**, v. 14, n. 7, article 1034, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture14071034>.

PERIN, A.; CRUVINEL, D. J.; SILVA, J. W. da. Desempenho do gergelim em função da adubação NPK e do nível de fertilidade do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 93-98, mar. 2010.

PITTELKOW, F. K.; SCARAMUZZA, J. F.; WEBER, O. L. dos S.; MARASCHIN, L.; VALADÃO, F. C. de A.; OLIVEIRA, E. dos S. Produção de biomassa e acúmulo de nutrientes em plantas de cobertura sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Agrarian**, v. 5, n. 17, p. 212-222, 2012.

RIBEIRO, R. M. P.; ALBUQUERQUE, J. R. T. de; PEREIRA, C. C. A.; PEREIRA, L. A. F.; BARROS JÚNIOR, A. P.; SILVEIRA, L. M. da; GRANGEIRO, L. C. Nutrient uptake in sesame cultivars under cultivation in semiarid conditions. **Bioscience Journal**, v. 35, n. 1, p. 137-147, Jan./Feb. 2019.

SALVAGIOTTI, F.; MAGNANO, L.; ORTEZ, O.; ENRICO, J.; BARRACO, M.; BARBAGELATA, P.; CONDORI, A.; DI MAURO, G.; MANLLA, A.; ROTUNDO, J.; GARCIA, F. O.; FERRARI, M.; GUDELJ, V.; CIAMPITTI, I. Estimating nitrogen, phosphorus, potassium, and sulfur uptake and requirement in soybean. **European Journal of Agronomy**, v. 127, article 126289, July 2021.

SANTOS, A. R. dos; ROCHA, G. M. G. da; MACHADO, A. P.; FERNANDES-JUNIOR, P. I.; ARRIEL, N. H. C.; GONDIM, T. M. de S.; LIMA, L. M. de. Molecular and biochemical responses of sesame (*Sesame indicum* L.) to rhizobacteria inoculation under water deficit. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, article 1324643, Jan. 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1324643>

SANTOS, M. G. dos; RIBEIRO, R. M. P.; ALBUQUERQUE, J. R. T. de; LINS, H. A.; BARROS JÚNIOR, A. P.; BEZERRA NETO, F.; SILVEIRA, L. M. da; SOARES, E. B.; SOUZA, A. R. E. de. Production performance of sesame cultivars under different nitrogen rates in two crops in the Brazilian semi-arid region. **Industrial Crops and Products**, v. 124, p. 1-8, Nov. 2018.

SHANKAR, T.; MALIK, G. C.; BANERJEE, M.; GHOSH, A. Influence of sea weeds extracts on the growth, quality and productivity of sesame (*Sesamum indicum*) in the red and lateritic belt of West Bengal. **International Journal of Bioresource Science**, v. 7, n. 1, p. 5-9, 2020.

SOUZA, H. A. de; SILVA, A. A.; CLARK, M. V. G.; FERREIRA, A. C. M.; BRITO, L. de C. R. de; SAGRILLO, E.; LEITE, L. F. C.; NATALE, W.; ARRUDA, F. P. de; SOUZA FILHO, L. F. da S. **Exportação e balanço de nutrientes de culturas agrícolas do Nordeste brasileiro**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2023. 89 p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 288).

TAMAGNO, S.; BALBOA, G. R.; ASSEFA, Y.; KOVÁCS, P.; CASTEEL, S. N.; SALVAGIOTTI, F.; GARCÍA, F. O.; STEWART, W. M.; CIAMPITTI, I. A. Nutrient partitioning

and stoichiometry in soybean: a synthesis-analysis. **Field Crops Research**, v. 200, p. 18-27, Jan. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.019>.

TEWOLDE, H.; BUEHRING, N.; WAY, T. R.; FENG, G.; HE, Z.; SISTANI, K. R.; JENKINS, J. N. Yield and nutrient removal of cotton–corn–soybean rotation systems fertilized with poultry litter. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 6, p. 5483-5498, 2021.

WACAL, C.; MUSINGUZI, S. P.; EWAJU, E.; ATIBO, C.; ALOWO, D.; ALIPA, J.; BASALIRWA, D. Unravelling the potential benefits of sesame (*Sesamum indicum* L.) in cropping systems, nutritional, health, and industrial uses of its seeds—a review. **Cogent Food & Agriculture**, v. 10, n. 1, article 2360766, 2024.

WANG, X.; ZHANG, J.; ZHANG, J.; ZANG, H.; HU, F.; GAO, T.; HUANG, M.; LI, Y.; LI, G. Assessing changes in climatic suitability for sesame cultivation in China (1978–2019) based on Fuzzy Mathematics. **Agronomy**, v. 14, n. 3, article 631, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14030631>