



LUCIANA CORREA MORAES

**NUTRIENT EXTRACTION AND EXPORTATION BY
COMMON BEAN**

LAVRAS - MG

2023

LUCIANA CORREA MORAES

NUTRIENT EXTRACTION AND EXPORTATION BY COMMON BEAN

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira
Orientador

Dra. Carine Gregório Machado Silva
Coorientadora

LAVRAS-MG
2023

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Moraes, Luciana Correa.
Nutrient extraction and exportation by common bean /
LUCIANA CORREA MORAES. - 2023.
52 p.

Orientador(a): Silvino Guimarães Moreira.
Coorientador(a): Carine Gregório Machado Silva.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2023.
Bibliografia.

1. Phaseolus vulgaris L. 2. Acúmulo de nutriente. 3. Adubação.
I. Moreira, Silvino Guimarães. II. Silva, Carine Gregório Machado.
III. Título.

LUCIANA CORREA MORAES

NUTRIENT EXTRACTION AND EXPORTATION BY COMMON BEAN
EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES PELO FEIJÃO-COMUM

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 10 de março de 2023.

Dra. Christiane Augusta Diniz Melo	UFLA
Dr .Guilherme Vieira Pimentel Interno	UFLA
Dr Fábio Aurélio Dias Martins	EPAMIG
Dra. Janine Magalhaes Guedes Simão	EPAMIG

Prof. Dr. Silvino Guimarães Moreira
Orientador

Dra. Carine Gregório Machado Silva
Coorientadora

LAVRAS- MG

2023

À minha família

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e pela dádiva de chegar à conclusão de mais um importante ciclo.

Aos meus pais, Moraes e Maria de Lourdes e aos meus irmãos, meus maiores incentivadores e investidores do meu sonho (não importando o tamanho e qual fosse esse sonho).

Ao Professor Dr.Silvino Guimarães Moreira, pelos anos de orientação, pela generosidade e disposição em compartilhar seu conhecimento e por ser um exemplo de profissional que nos motiva sempre a melhorar.

Aos integrantes do Grupo de Pesquisa em Manejo de Produção - GMAP, pela amizade e companheirismo, pela disponibilidade em ajudar na condução dos trabalhos e pelos momentos de descontração.

Aos funcionários do setor de Grandes Culturas e da Fazenda Múquen, Antônio, Arnaldi, Edésio, Ezequiel e Otávio, pela valiosa ajuda com os experimentos.

Aos mestres que passaram por toda a minha vida acadêmica, pelo conhecimento e sabedoria que me foram transmitidos, de modo especial ao Professor Dr. Haroldo Silva Vallone.

Aos integrantes da banca examinadora, por aceitarem o convite e disponibilizarem parte de seu tempo para avaliação desse trabalho.

A todos aqueles que me ajudaram de uma forma ou de outra na realização desse trabalho.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de realizar o doutorado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia.

À CAPES, O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

A produtividade média feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) no Brasil e no mundo ainda é muito baixa, situando-se por volta de 1000 kg ha⁻¹. No entanto, existem produtores no Brasil com produtividades médias acima de 4000 kg ha⁻¹. Com certeza, um dos grandes entraves para aumento da produtividade é a falta de informações sobre o requerimento nutricional para a condução da cultura, pois frequentemente novas cultivares são lançadas, mas sem informações sobre manejo. Normalmente, produtores com altas produtividades aplicam altas doses de fertilizantes, baseando-se em informações obtidas há mais de duas décadas para cultivares antigas que atualmente não são mais cultivadas. Deste modo, os objetivos desse trabalho foram: (i) quantificar a extração e exportação de nutrientes, assim como o índice de colheita de cultivares modernas e produtivas de feijão-comum, pertencentes a diversos grupos comerciais e hábitos de crescimento; (ii) avaliar por meio da revisão sistemática e meta-análise os últimos trabalhos sobre exportação dos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) por unidade de grão de feijão produzida, buscando-se verificar as diferenças entre as cultivares tipo I, II, III e IV. O estudo referente ao objetivo (i) ocorreu em Lavras - MG e foi conduzido em delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições, utilizando-se oito cultivares de feijão-comum. Para avaliação do acúmulo e exportação de nutrientes coletaram-se plantas nos estádios vegetativos (V4, com 3, 5 e 7 trifólios) e reprodutivos (R5, R7, R8 e R9). Determinaram-se o acúmulo de massa da matéria seca total e de nutrientes e em cada estágio fenológico, bem como a produtividade e exportação de nutrientes pelos grãos. Ocorreram diferenças no acúmulo de massa seca e de nutrientes entre as cultivares nos estádios iniciais de desenvolvimento, mas a partir de R8 não foram verificadas diferenças. O crescimento inicial e acúmulo de nutrientes pelas cultivares precoces TAA Gol e BRS FC104 foi maior quando comparado ao das cultivares tipo II e III. O K foi exportado em menor quantidade pelas cultivares BRS Estilo, BRS FC104 e TAA Gol, comparado às demais cultivares. Quando realizado o contraste entre os tipos de crescimento, as plantas do tipo II (BRS Estilo, BRSMG MARTE, IPR Tuiuiú e BRSMG Uai) exportaram mais P, K, Mg e Zn do que cultivares do tipo I (BRS FC104 e TAA Gol). A revisão sistemática (ii) indica que as exportações médias de N, P e K por tonelada de grãos de feijão foram 32,7, 3,5 e 15,4 kg Mg⁻¹ respectivamente. As exportações médias de N, P e K por hectare, considerando-se a produtividade média obtida nos estudos de 2673 kg ha⁻¹, foi de 77,6, 8,3 e 36,8 kg ha⁻¹, respectivamente.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L.. Acúmulo de nutriente. Adubação.

ABSTRACT

Average common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yield in Brazil and in the world is still very low, around 1000 kg ha⁻¹. However, there are producers in Brazil with average yields above 4000 kg ha⁻¹. Certainly, one of the major obstacles to increasing productivity is the expected lack of information about the nutritional requirement for growing the crop, as new cultivars are often launched, but without information on management. Typically, producers with high yields apply high doses of fertilizers, based on information transmitted over two decades ago for ancient cultivars that currently do not are more cultivated. Thus, the objectives of this work were: (i) to quantify the inheritance and export of nutrients, as well as the harvest index of modern and productive cultivars of common bean, belonging to different commercial groups and growth habits; (ii) to evaluate, through systematic review and meta-analysis, the latest studies on the export of nutrients (N), phosphorus (P) and potassium (K) per unit of bean grain produced, seeking to verify the difference between cultivars type I, II, III and IV. The study referring to objective (i) took place in Lavras - MG and was carried out in a randomized block experimental design with four replications, using eight common bean cultivars. To evaluate the accumulation and export of nutrients, plants were collected in the vegetative (V4, with 3, 5 and 7 trefoils) and reproductive (R5, R7, R8 and R9) stages. The accumulation of total dry mass and nutrients and at each phenological level were determined, as well as the productivity and export of nutrients by the grains. There were differences in the positioning of dry mass and nutrients between cultivars in the initial stages of development, but from R8 onwards verification was not verified. The initial growth and nutrient accumulation by the early TAA Gol and BRS FC104 cultivars was higher when compared to type II and III cultivars. K was exported in smaller quantities by the cultivars BRS Estilo, BRS FC104 and TAA Gol, compared to the other cultivars. When the growth types are contrasted, type II plants (BRS Estilo, VR20, Tuiuiú and BRSMG Uai) export more P, K, Mg and Zn than type I cultivars (BRS FC104 and TAA Gol). The systematic review (ii) indicates that the average exports of N, P and K per ton of bean grains were 32.7, 3.5 and 15.4 kg Mg⁻¹ respectively. The average exports of N, P and K per hectare, considering the productivity treated in the studies of 2673 kg ha⁻¹, was 77.6, 8.3 and 36.8 kg ha⁻¹, respectively.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L. Nutrient accumulation. Fertilizing.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	9
	REFERÊNCIAS	10
	ARTIGO 1 - EXTRACTION AND EXPORT OF NUTRIENTS BY DETERMINATE AND INDETERMINATE CULTIVARS OF COMMON BEAN (VERSÃO PRELIMINAR – ARCHIVES OF SOIL SCIENCE).....	12
1	INTRODUCTION	12
2	MATERIAL AND METHODS	13
3	RESULTS	17
4	DISCUSSION.....	23
5	CONCLUSIONS.....	26
6	REFERENCES	26
	ARTIGO 2 – EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES PELA CULTURA DO FEIJÃO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA E META-ANALISE.....	30
1	INTRODUÇÃO	30
2	MATERIAL E MÉTODOS	32
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
3.1	<i>Overview</i>	33
3.2	<i>Exportação de nutrientes por unidade de grãos</i>	34
3.2.1	Exportação de nutrientes por unidade de grãos em função ao tipo de crescimento 37	
4	CONCLUSÕES.....	42
5	REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO GERAL

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é originário das Américas, sendo um membro da família Fabaceae. É uma planta herbácea e que pode apresentar hábito de crescimento determinado ou indeterminado (RIBEIRO et al., 2004; ZILIO et al., 2013).

As plantas dessa espécie apresentam diferentes hábitos de crescimento. Cultivares de feijão do tipo I são caracterizadas por terem uma gema terminal determinada, forte ramificação ereta, sem desenvolvimento de guia. Já os demais hábitos, tem crescimento terminal indeterminado, desenvolvimento de guia pequeno a médio e capacidade de escalada baixa a moderada, sendo os do tipo II mais eretos e do tipo III mais prostrados. O hábito de crescimento do tipo IV têm haste frágil, desenvolvimento de guia longo e uma forte capacidade de escalada (SINGH et al., 1991).

O ciclo produtivo do feijão é relativamente curto, em torno de 90 dias, assim, é possível realizar o cultivo por sucessão e ou rotação de cultivos ao longo do ano (BARBOSA; GONZAGA, 2012).

Além da vantagem agronômica, o feijão é uma leguminosa que apresenta características nutricionais únicas, de alto valor agregado, e é rica em macronutrientes e micronutrientes. Podendo ser considerado um alimento do futuro (CARBAS et al., 2021).

A produtividade das áreas de feijão é frequentemente influenciada pelas cultivares, tamanho da semente, hábito de crescimento e outras características não intrínsecas da cultura como época de plantio, disponibilidade hídrica e adubação. Portanto, é preciso identificar essas influencias e sugerir manejos adequados à essas características (DAWO et al., 2007).

Há grande influência do ambiente no estado nutricional das plantas, e sua idade é um fator de peso nessa interação planta x ambiente, portanto, conhecer o teor e a acúmulo de nutrientes durante o ciclo da cultura é fundamental para o manejo apropriado e, ao mesmo tempo, para o aumento da produtividade. Na prática, é extremamente importante conhecer a variação temporal do acúmulo de massa de matéria seca e de cada nutriente ao longo do ciclo da planta, para estabelecer as épocas mais adequadas de seu fornecimento (FANCELLI, 2011).

Embora sejam disponíveis na literatura alguns resultados com o feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.), a quase totalidade foi obtida já há bastante tempo, com o emprego de cultivares de baixo rendimento de grãos, não mais utilizadas pelos produtores. Cobra Netto et al (1971) já afirmavam que a adubação incorreta como um fator limitante em diversas regiões do Brasil e que eram limitados os trabalhos, apesar da importância econômica da cultura. Embora disponíveis na literatura alguns trabalhos tenham sido publicados, quantificando a

absorção e exportação de nutrientes pelo feijoeiro, tratam-se de informações desatualizadas pois, em sua grande maioria são muito antigos, não considerando o maior potencial de produtividade e as tecnologias disponíveis atualmente.

Além disso, nos trabalhos realizados no passado não foram considerados os diferentes hábitos de crescimento do feijoeiro. Sabendo dessa deficiência de informações, objetivou-se: i) quantificar a extração e exportação de nutrientes, assim como o índice de colheita de cultivares modernas e produtivas de feijão-comum; e (ii) avaliar por meio da revisão sistemática e meta-análise os últimos trabalhos sobre exportação dos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) por unidade de grão de feijão produzida, buscando-se verificar as diferenças entre as cultivares tipo I, II, III e IV.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. de O. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2012. 248 p.

CARBAS, B.; MACHADO, N.; PATHANIA, S.; BRITES, C.; ROSA, E. A.; BARROS, A. I. Potential of legumes: Nutritional value, bioactive properties, innovative food products, and application of eco-friendly tools for their assessment. **Food Reviews International**, p. 1-29, 2021

COBRA NETTO, A.; ACCORSI, W. R.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a nutrição mineral do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L., var. Roxinho). **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 28, p. 257-274, 1971.

DAWO, M. I.; SANDERS, F. S. E.; PILBEAM, D. J. Yield, yield components and plant architecture in the F3 generation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) derived from a cross between the determinate cultivar 'Prelude' and an indeterminate landrace. **Euphytica**, v. 156, p. 77-87, 2007.

FANCELLI, A. L. Nutrição e adubação da cultura de feijão. In: FANCELLI, A. L. (Ed.). **Feijão: tecnologia da produção**. Piracicaba: ESALQ, 2011. p. 129-164.

GRAHAM, P. H.; RANALLI, P. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Field Crops Research**, v. 53, n. 1-3, p. 131-146, 1997.

RIBEIRO, N. D.; HOFFMANN JUNIOR, L.; POSSEBON, S. Variabilidade genética para ciclo em feijão dos grupos preto e carioca. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 10, n. 1, 2004.

SINGH, S. P.; GEPTS, P.; DEBOUCK, D. G. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). **Economic Botany**, p. 379-396, 1991.

ZILIO, M.; SOUZA, C. A.; COELHO, C. M. M.; MIQUELLUTI, D. J.; MICHELS, A. F. Cycle, canopy architecture and yield of common bean genotypes (*Phaseolus vulgaris*) in Santa Catarina State. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, p. 21-30, 2013.

ARTIGO 1 - Extraction and Export of Nutrients by Determinate and Indeterminate Cultivars of Common Bean (Versão Preliminar – Archives of Soil Science)

ABSTRACT

The goal of this study is to quantify the extraction and export of nutrients as well as the harvest index of modern and productive common bean cultivars belonging to various commercial groups with different growth habits. The experiment was carried out using a randomized block design with four replicates and eight common bean cultivars. To evaluate nutrient accumulation and export, plants were collected at the vegetative (V4, with 3, 5 and 7 trifoliolate leaves) and reproductive (R5, R7, R8 and R9) stages. The accumulation of total dry mass and nutrients at each phenological stage, yield and export of nutrients by grains were determined. There were differences in the accumulation of dry mass and nutrients between the cultivars in the early stages of development. The initial growth and accumulation of nutrients by the early cultivars TAA Gol and BRS FC104 were higher than those by the type II and III cultivars. Nutrient exports per hectare or per ton of grain were similar between cultivars. Type II cultivars (BRS Estilo, BRSMG Marte, Tuíuiú and BRSMG Uai) exported more P, K, Mg and Zn than the type I (BRS FC104 and TAA Gol). Type III exported more Mg than the type II cultivars.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L.; nutrient export; nutrient extraction

1 INTRODUCTION

One of the current challenges in global agriculture is to ensure that in the coming decades, the production of foods with high nutritional value can meet increasing demands from the population (Fróna et al. 2019, Barrett 2021) combined with reduced land availability each year.

Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a nearly perfect food because it is rich in nutrients and proteins, dietary fiber, minerals and vitamin B. It supplies a portion of the protein required for human nutrition every day (Camara et al. 2013; Carbas et al. 2021).

Approximately 33 million hectares of common bean were grown during 2019, with an average yield below 1000 kg ha⁻¹ (Food and Agriculture Organization of The United Nations Statistics; FAOSTAT 2021). Common bean production in Brazil and worldwide is low, and Moreira et al. (2018) state that Brazil has the potential for average yields greater than 3000 kg ha⁻¹. Nascimento et al. (2021), evaluating modern cultivars used in Brazilian crops under

conditions similar to those in this study, found yields above 1600 kg ha⁻¹, even in situations without topdressing fertilization. Baez-Gonzalez et al. (2020), for example, observed yields above 2000 kg ha⁻¹ under rainfed cultivation in semiarid conditions. Those informations are relevant once they demonstrate the productive potential of dry beans on more suitable environments.

One of the major obstacles to the expansion of this crop is the lack of information on the nutritional requirements of newly launched cultivars. A search of the Web of Science database in October 2021 for the expressions “*Phaseolus vulgaris*” and “nutrient requirement” returned 70 results, while for maize and soybean crops, there were 253 and 786 records, respectively. For bean plants, approximately 70% of the articles were published more than five years ago. Among the most recent publications, four are review articles (Atique-Ur-Rehman et al. 2018; Dawson et al. 2019; Fernandez-Lopes et al. 2020; Justes et al. 2021), and only Nyoki and Ndakidemi (2018) address nutrient extraction by bean plants.

When we entered the keywords “Nutrient uptake” and “*Phaseolus vulgaris*” into the same database, we found 112 articles from the field of agronomy. The first record is an article by Dormaar (1975) on the extraction of nutrients by bean plants. Of the 112 total articles, 28 are from the last five years, and only the article by Vasconcelos et al. (2020) was performed under edaphoclimatic conditions (same country, also) similar to those evaluated in this study; however, the authors studied the cultivar Pérola. This cultivar was launched in 1996 (Yokoyama et al. 1999), and the article did not cover the last 26 years of crop improvement.

In addition to the limited number of studies, there is also evidence that bean cultivars have different dry matter accumulation rates, nutrient extraction and export rates and harvest indices according to cycle length, commercial group and plant growth type (Leal et al. 2019; Silva and Moreira 2022; Zilio et al. 2017). For example, type I (determinate) cultivars reach developmental stages earlier and complete all stages more quickly than types II and III, which are indeterminate (De Oliveira et al. 2018). Therefore, the objective of this study was to quantify the extraction and export of nutrients as well as the harvest index of common bean cultivars belonging to various commercial groups and with different growth habits. Our hypothesis was that earlier bean cultivars (type I) would have higher initial dry mass (DM) production than indeterminate cultivars (types II and III) and, therefore, a greater need for nutrients in the initial phase than later cultivars (types II and III).

2 MATERIAL AND METHODS

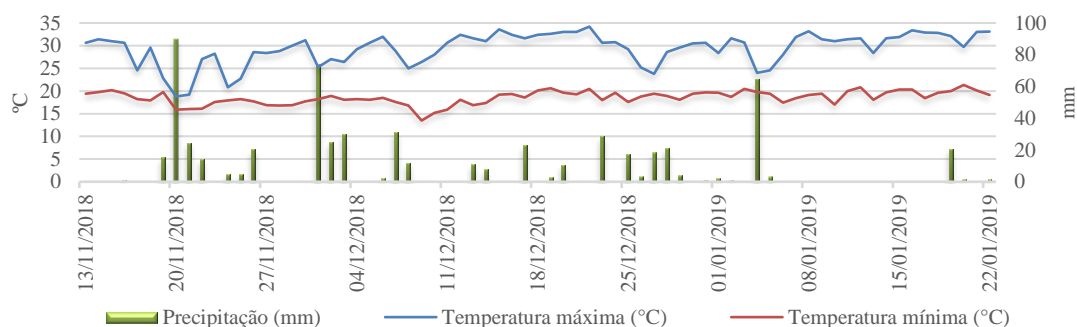
The experiment was carried out at the Center for Scientific and Technological Development of UFPA (Muquém Farm) in the municipality of Lavras, MG, Brazil (21°14'43" S and 44°59'59" W, altitude: 919 meters), in the 2018/2019 crop season. The soil of the site is characterized as a Red Yellow Latosol with a clayey texture in the Brazilian Soil Classification (Santos et al. 2018) or as a clayey Typic Hapludox in the Soil Taxonomy system (Soil Survey Staff 2014).

The experiment followed a randomized block design with four replicates and eight treatments. The eight treatments were cultivars of different types (type I: BRS FC104 and TAA Gol; type II: BRS Estilo, BRSMG Uai, IPR Tuiuiu and BRSMG Marte; and type III: Pérola and TAA Dama).

Each plot was 28.8 m² and consisted of eight six-meter-long rows spaced 0.6 m apart. The four central lines were adopted as the usable area of each plot, leaving a 1 m border at each end of the lines, totaling 9.6 m². Plants in two rows of the usable area were examined at the different phenological stages of the crop, and those in the other two rows were used to estimate final grain yield.

During the experimental period, the mean temperature was 23.5 °C, the minimum temperature was 13.5 °C, and the maximum temperature was 34.2 °C. The cumulative rainfall from sowing to harvest of the later cultivars (01/22/2019) was 714.4 mm, while during the cycle of the early cultivars (type I), the cumulative rainfall was 691.0 mm (FIGURE 1).

Figure 1. Precipitation and maximum and minimum temperatures for the period of the experiments performed during the 2018/2019 harvest in the city of Lavras, MG.



On the day of sowing, the seeds were treated with Standak Top® (25 g L⁻¹ pyraclostrobin, 225 g L⁻¹ methyl thiophanate, and 250 g L⁻¹ fipronil). As recommended by Araújo and Camelo (2015), for the type I cultivars, the sowing density was 270 thousand seeds ha⁻¹; for the type II cultivars, 220 thousand ha⁻¹; and for the type III cultivars, 170 thousand seeds ha⁻¹.

For chemical characterization of the soil in the area, a composite soil sample was taken

from the 0-20 cm layer before sowing, revealing the following attributes: pH (H₂O) = 6.5; P (Mehlich-1) = 4.6 mg dm⁻³; K = 118 mg dm⁻³; organic matter (OM) = 36 g kg⁻¹; and Ca, Mg, Al, H+Al, and CEC = 4.0, 1.4, 0.00, 1.5 and 7.3 cmol_c dm⁻³, respectively. The base saturation was 79%, and the B, Cu, Fe, Mn, S and Zn contents were 0.24, 0.5, 47.6, 8.6, 4.9 and 3.4 mg dm⁻³, respectively.

Sowing occurred on October 24, 2018, and base fertilization was performed according to the recommendations of Sousa and Lobato (2004), aiming to achieve a yield of 3 tons per hectare, according to the bean yield of high-yield farmers in the State of Minas Gerais. Thus, 416 kg ha⁻¹ formulated NPK (01-28-00) + 10% calcium (Ca) and 5% S were used. In addition, 20 and 80 kg ha⁻¹ N and K₂O, respectively, were applied in the forms of urea (45% N) and potassium chloride (60% K₂O) as a source of N and K. The N and K applications were performed when the third trifoliolate leaf (stage V4) appeared, and 45 kg ha⁻¹ N was applied in the form of urea as recommended by Souza and Lobato (2004).

Throughout the crop cycle, periodic monitoring for weeds, diseases and pests was performed. Insect control was performed by applying thiamethoxam (141 g L⁻¹) at a rate of 100 mL ha⁻¹. For the control of narrowleaf weeds, the herbicide Fusilade® was applied at a rate of 1 L ha⁻¹. For the control of broadleaf weeds, a mixture of the herbicides Flex® (500 mL ha⁻¹) and Amplo® (500 mL ha⁻¹) was used. In addition, when necessary, the remaining plants were manually uprooted, preventing them from impairing the normal development of bean plants. For the control of leaf diseases, the fungicide Mertin® (1000 mL ha⁻¹) was applied when the plants were in phenological stage V3, and two applications of Fox Xpro® (500 mL ha⁻¹) were used in reproductive stages R5 and R7.

To evaluate the accumulation of nutrients, two plants were collected per plot in each season, discarding the two plants closest to the previous collection site, in the following phenological stages: V4 (3, 5 and 7 trifoliolate leaves), R5, R7, R8 and R9. The developmental scale used for the bean plants in this study was that described in De Oliveira et al. (2018), which divides the biological cycle into the vegetative and reproductive phases. These, in turn, are subdivided into ten stages. The vegetative phase (V) consists of stages V0 (germination), V1 (emergence), V2 (primary leaves), V3 (first open trifoliolate leaf) and V4 (third open trifoliolate leaf), and the reproductive phase (R) includes stages R5 (flower bud), R6 (flowering), R7 (pod formation), R8 (grain filling) and R9 (physiological maturity).

At each evaluation, the plants were cut close to the soil and, according to each stage, separated into leaves, stems, pods and grains. The collection stage and procedures are described in Table 1. After the collections, the accumulation of DM and total nutrients in each

phenological stage as well as the export of nutrients by grains were determined. For this analysis, the plant material was dried in an oven at 65 °C, ground and sent to the 3RLab commercial laboratory for chemical analysis of N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn. Grain yield was determined by harvesting grains from plants in two six-meter-long rows, and the grain moisture was standardized to 13% (Malavatora et al. 1997).

From the obtained data, nutrient absorption curves were constructed as a function of the phenological stage of the crop. The harvest index (HI) was estimated by the following ratio: (grain DM/total DM) x 100. Grain DM and total DM of the R9 stage were considered.

For each phenological stage, whether the experimental data met the assumptions of analysis of variance was determined, and analysis of variance was used to verify differences in nutrient uptake between cultivars. When necessary, the data were transformed by \sqrt{x} . When there was a significant effect, means were grouped by the Scott–Knott test at a 5% probability. Differences between growth types (type I: BRS FC104 and TAA Gol; type II: BRS Estilo, BRSMG Uai, IPR Tuiuiu and BRSMG Marte; and type III: Pérola and TAA Dama) were also determined. All data expressed in the tables are original data.

Table 1. Periods of collection and separation of bean plant parts.

Stage	Date	Cultivars	Procedure
- -	24/10/2018	All	Sowing
V3.4	14/11/2018	BRS FC104, TAA Gol	Evaluation of the whole plant
	20/11/2018	BRS Estilo, BRSMG Uai, IPR Tuiuiu, Pérola, TAA Dama, BRSMG Marte	
V4.5	23/11/2018	BRS Estilo, BRS FC104, TAA Gol, BRSMG Marte,	Evaluation of the whole plant
	26/11/2018	BRSMG Uai, IPR Tuiuiu, Pérola, TAA Dama	
V4.7	26/11/2018	BRS Estilo, BRS FC104, TAA Gol, BRSMG Marte,	Evaluation of the whole plant
	30/11/2018	BRSMG Uai, IPR Tuiuiu, Pérola, TAA Dama	
R5	30/11/2018	BRS Estilo, BRS FC104, TAA Gol, BRSMG Marte,	Evaluation of separate components: leaves and stems
	03/12/2018	BRSMG Uai, IPR Tuiuiu	
	05/12/2018	Pérola, TAA Dama	
R7	10/12/2018	BRS FC104, TAA Gol	Evaluation of separate components: leaves and stems
	17/12/2018	BRS Estilo, BRSMG Uai, IPR Tuiuiu, Pérola, TAA Dama, BRSMG Marte (Ouro da Mata)	
R8	17/12/2018	BRS FC104, TAA Gol, BRSMG	Evaluation of separate

	20/12/2018	Marte, BRS Estilo, BRSMG Uai, IPR Tuiuiu, Pérola, TAA Dama	components: leaves, stems, and pods (with grains)
R9	09/01/2019	BRS FC104, TAA Gol	Evaluation of separate
	17/01/2019	BRSMG Marte,	components: leaves, stems, and pods (with grains),
	22/01/2019	BRS Estilo, BRSMG Uai, IPR Tuiuiu, Pérola, TAA Dama	Harvest

3 RESULTS

The total DM production varied between cultivars during the vegetative and early reproductive stages (R5: flower budding). From the R7 stage to the R9 stage, there was no variation in the DM yield of the cultivars (Table 2). At the beginning of stage V4 (plants with three trifoliate leaves), the TAA Gol and BRS FC104 cultivars showed higher DM production than the other cultivars (Table 2), indicating higher initial DM accumulation, which is related to their greater precocity. Notably, the cultivars TAA Gol and BRS FC104 reached the R9 stage (maturity) at 77 days, while the BRSMG Marte strain reached this stage after 85 days. The cultivars TAA Dama, BRS Estilo, Pérola, IPR Tuiuiu and BRSMG Uai had a 90-day cycle.

Table 2. Accumulation of dry mass in the vegetative and reproductive stages of common bean and the grain yield (Yield) and harvest index (MHI) of the cultivars TAA Dama, BRS Estilo, BRS FC104, TAA Gol, BRSMG Marte, Pérola, IPR Tuiuiu and BRSMG Uai.

Cultivar	3		5		7		R5	R7	R8	R9	Yield	MHI						
	trifolia te leaves	trifolia te leaves	trifolia te leaves	trifolia te leaves	trifolia te leaves	trifolia te leaves												
kg ha ⁻¹																		
TAA Dama	334.1	b	409.0	b	1043.7	a	2102.0	a	2796.5	a	3370.0	a	6866.1	a	3274.8	a	46.7	a
BRS Estilo	338.3	b	568.6	a	672.7	b	680.2	c	3360.9	a	4646.2	a	5439.7	b	2031.4	b	37.7	a
BRS FC 104	513.5	a	816.6	a	894.4	a	1220.4	b	4026.1	a	5546.0	a	4355.1	b	2134.3	b	49.2	A
TAA Gol	654.4	a	609.6	a	920.5	a	1266.0	b	3978.9	a	5864.0	a	5129.9	b	2166.8	b	42.3	A
BRSMG Marte	209.6	b	379.0	b	499.7	b	941.5	c	2767.0	a	5083.0	a	6351.3	a	2974.4	a	47.1	a
Pérola	395.3	b	556.2	a	1206.4	a	2370.3	a	3512.6	a	4054.2	a	5377.9	b	2751.4	a	51.0	a
IPR Tuiuiu	401.8	b	598.6	a	500.6	b	2089.6	a	2434.7	a	3998.6	a	6176.7	a	3149.7	a	50.9	a

BRSMG Uai	303.6	487.5	465.1	2121.7	3302.8	3838.1	6543.2	2735.3	42.0
Mean	393.8	553.1	775.4	1599.0	3272.4	4550.0	5780	2652.3	45,89
C. V. (%)	29.7	30.3	31.6	15.3	22.4	29.5	28.1	20.46⁺	7,16⁺

Means followed by the same letter in a column do not differ according to the Scott–Knott test at a 5% significance level. + Transformed data. CV: Coefficient of variation.

During stage V4.5 (plants with 5 trifoliolate leaves), only the TAA Dama and BRSMG Uai cultivars and the BRSMG Marte strain had DM values lower than 500 kg ha⁻¹, with lower DM production than the other cultivars. The BRS FC104 cultivar had the highest DM, at 816.6 kg ha⁻¹. Type III cultivars (TAA Dama and Pérola) with 7 trifoliolate leaves already had DM values higher than 1000 kg ha⁻¹. Although the DM values of the type I cultivars (BRS FC104 and TAA Gol) did not reach the thousands, together with those of the type III cultivars, the DM values of the type I cultivars were higher than those of the type II cultivars. At the flower budding stage (R5), the BRS Estilo cultivar and the BRSMG Marte strain showed lower DM values than the earlier cultivars.

The average grain and DM yields were 2652 and 5780 kg ha⁻¹, respectively. The BRS Estilo, BRS FC104 and TAA Gol cultivars showed mean grain yields below 2200 kg ha⁻¹. TAA Dama showed the highest yield in the experiment, i.e., 3274.8 kg ha⁻¹. The cultivars of the carioca and type I groups, BRS FC 104 and TAA Gol, produced an average of 4355 and 5129 kg ha⁻¹ DM, respectively. The type II IPR Tuiuiu cultivar from the black group had a DM value of 6176 kg ha⁻¹. Although the Pérola cultivar has indeterminate growth and a greater tendency for vegetative growth than the type I cultivars, it produced 5377 kg ha⁻¹ DM, similarly to the cultivars TAA Gol and FC104, which yielded 4355 and 5129 kg ha⁻¹ DM, respectively.

The bean cultivars showed differences in macro- and micronutrient accumulations during the vegetative and reproductive phases (Table 3 and Figures S1 to S8). The main differences in the vegetative phase were observed when the plants were in stage V4, with between five and seven trifoliolate leaves. In general, the earliest cultivars (TAA Gol and BRS FC104) accumulated more nutrients than the other cultivars in stage V4, when the plants had 3 trifoliolate leaves, following the accumulation of DM in this stage (Table 3).

During the V4 stage, for plants with 5 trifoliolate leaves, the accumulated amounts of N, P, K, Mg, Cu and Fe did not vary between the cultivars. In this evaluation, the TAA Dama cultivar and the BRSMG Marte strain showed calcium extractions of less than 10 g ha⁻¹. The TAA Dama and BRSMG Uai cultivars and the BRSMG Marte strain accumulated less Zn than

the other cultivars. These cultivars, together with Pérola, also accumulated smaller amounts of sulfur and boron than the other cultivars.

Considering the plants in stage V4 (with 7 trifoliolate leaves), type III (TAA Dama and Pérola) and type I (TAA Gol and BRS FC104) cultivars accumulated a greater amount of nutrients than the other cultivars, except for Fe. Until this stage, the cultivar BRSMG Uai accumulated only 19.4 kg ha⁻¹ N, while the cultivar Pérola accumulated 50.9 kg ha⁻¹ N, which is approximately 162% more than that accumulated by BRSMG Uai.

In the preflowering phase, type II cultivars (BRS Estilo and the BRSMG Marte strain) had lower accumulations of N, P, K Ca, Mg, S and B than the other cultivars (Table 4), coinciding with the lowest DM accumulations in these cultivars (Table 3). On the other hand, at the R7 stage (pod formation), the amounts of accumulated nutrients did not vary among the cultivars, except for Zn, which had higher accumulation in the BRS Estilo, BRS FC104, TAA Gol and Pérola cultivars than in the other cultivars. Beginning in the R8 stage, there were no significant differences in nutrient extraction by plants. Among the macronutrients, K was the most required by the bean plants, and among the micronutrients, Fe had the highest accumulation. There was a linearly adjusted increment in the accumulation of macronutrients and micronutrients in the beans throughout the crop (table 4).

There was a linear increase in relation to the macronutrients and micronutrients in all cultivars throughout the crop. Therefore, it is not possible to calculate maximum values of nutrient absorption. All visual data, with all plants separate components are available by cultivar and nutrient in the supplementary materials

Table 3. Nutrient accumulation in the vegetative and reproductive stages by the bean cultivars TAA Dama, BRS Estilo, BRS FC 104, TAA Gol, BRSMG Marte, Pérola, IPR Tuiuiu and BRSMG Uai.

Stage	Cultivar	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹				
3 trefoils	TAA Dama	15.2 b	3.2 b	13.5 b	7.0 b	1.9 b	1.5 b	18.1 b	2.8 b	174.7 a	11.5 b	12.7 B
	BRS Estilo	14.5 b	3.1 b	15.4 b	6.8 b	1.6 b	1.4 b	17.5 b	2.6 b	171.5 a	10.4 b	12.5 B
	BRS FC 104	23.8 a	5.2 a	19.5 b	10.7 a	2.4 a	2.2 a	31.1 a	3.6 b	160.0 a	18.7 a	20.8 A
	TAA Gol	28.4 a	5.9 a	28.9 a	13.6 a	3.0 a	2.6 a	34.2 a	4.7 a	328.5 a	30.4 a	20.3 a
	BRSMG Marte	9.9 b	1.9 b	8.4 b	4.3 b	0.9 b	0.8 b	14.3 b	1.7 c	101.9 a	5.8 b	7.4 b
	Pérola	18.8 b	3.9 b	15.6 b	8.1 b	1.9 b	1.6 b	22.8 b	3.7 b	293.3 a	11.1 b	15.5 b
	IPR Tuiuiu	18.2 b	3.9 b	15.9 b	8.5 b	2.1 b	1.8 b	20.1 b	3.3 b	221.9 a	13.8 b	13.8 b
	BRSMG Uai	14.0 b	2.9 b	12.1 b	6.4 b	1.3 b	1.2 b	19.7 b	2.4 b	146.4 a	7.4 b	10.1 b
	Média	17.8	3.7	16.2	8.2	1.9	1.6	22.2	3.1	199.8	13.6	14.1
	C. V %	32.0	36.5	30.4	31.1	37.1	34.3	28.5	36.9	25.6+	26.9+	37.2
5 trefoils	TAA Dama	18.3 a	3.6 a	15.8 a	8.5 b	1.9 a	1.6 b	19.9 b	3.3 a	362.3 a	11.2 a	13.7 b
	BRS Estilo	22.0 a	4.7 a	28.3 a	11.6 a	2.6 a	2.3 a	27.8 a	4.6 a	274.0 a	19.2 a	23.0 a
	BRS FC 104	35.4 a	6.9 a	30.6 a	16.9 a	3.6 a	3.2 a	39.5 a	6.2 a	426.0 a	26.8 a	29.5 a
	TAA Gol	28.4 a	5.2 a	26.7 a	12.8 a	2.6 a	2.5 a	33.8 a	5.1 a	338.0 a	17.8 a	21.1 a
	BRSMG Marte	17.4 a	3.4 a	18.7 a	8.0 b	1.6 a	1.5 b	18.8 b	3.0 a	194.9 a	9.6 a	14.4 b
	Pérola	26.1 a	4.9 a	24.7 a	10.8 a	2.2 a	2.0 b	24.2 b	4.1 a	265.1 a	16.0 a	20.2 a
	IPR Tuiuiu	26.1 a	5.7 a	29.8 a	12.4 a	2.5 a	2.3 a	28.4 a	4.8 a	272.0 a	15.9 a	22.4 a
	BRSMG Uai	21.0 a	4.1 a	24.5 a	10.1 a	1.8 a	1.7 b	25.0 b	3.5 a	237.3 a	15.0 a	15.3 b
	Média	24.3	4.8	24.9	11.4	2.4	2.1	27.2	4.3	296.2	16.4	19.9
	C. V %	15.9+	29.6	16.4+	30.1	16.2+	28.9	15.1+	31.3	26.4+	23.7+	30.9
7 trefoils	TAA Dama	49.6 a	8.2 a	50.0 a	21.7 a	4.4 a	3.9 a	41.0 a	8.7 a	456.3 a	27.5 a	37.6 a
	BRS Estilo	29.5 b	5.1 b	32.8 b	13.6 b	2.8 b	2.5 b	26.2 b	5.4 b	375.5 a	19.0 b	23.1 b
	BRS FC 104	40.5 a	8.4 a	43.4 a	19.4 a	4.4 a	3.8 a	46.2 a	8.5 a	554.3 a	29.4 a	41.5 a
	TAA Gol	41.7 a	8.3 a	46.1 a	19.5 a	3.8 a	3.4 a	41.9 a	8.2 a	643.2 a	32.9 a	38.6 a
	BRSMG Marte	22.7 b	4.3 b	24.5 b	10.3 b	2.1 b	1.9 b	23.2 b	4.2 b	354.3 a	13.8 b	18.9 b
	Pérola	50.9 a	9.8 a	64.8 a	24.3 a	5.6 a	4.6 a	46.2 a	9.8 a	435.3 a	34.0 a	48.7 a
	IPR Tuiuiu	23.0 b	4.6 b	21.8 b	10.7 b	2.1 b	1.9 b	24.3 b	4.1 b	324.8 a	11.2 b	15.8 b
	BRSMG Uai	19.4 b	4.0 b	23.0 b	9.7 b	1.7 b	1.6 b	20.8 b	4.1 b	395.3 a	13.2 b	17.2 b
	Média	34.7	6.6	38.3	16.2	3.4	2.9	33.7	6.6	442.4	22.6	30.2
	C. V %	32.4	32.0	33.1	32.6	36.7	31.6	31.9	30.2	24.9+	36.8	32.0
Pre-flowering	TAA Dama	79.2 a	15.7 a	82.3 b	34.4 a	8.2 a	6.5 a	73.3 a	15.6 a	887.0 a	40.7 a	82.6 a
	BRS Estilo	29.2 c	4.8 c	31.1 d	11.2 d	2.7 c	2.2 c	31.9 c	4.6 c	266.7 b	17.0 b	19.4 b
	BRS FC 104	54.7 b	9.6 b	54.9 c	21.5 c	5.1 b	4.1 b	58.5 b	8.7 b	424.5 b	30.5 b	41.5 b
	TAA Gol	54.5 b	10.0 b	57.8 c	21.1 c	5.1 b	4.2 b	62.4 b	10.4 b	931.1 a	29.9 b	41.6 b
	BRSMG Marte	38.8 c	7.4 c	44.6 d	15.5 d	3.5 c	3.0 c	44.5 c	7.4 b	414.1 b	24.6 b	33.6 b
	Pérola	79.1 a	15.7 a	99.3 a	35.1 a	8.4 a	6.7 a	93.2 a	16.3 a	823.9 a	51.4 a	69.3 a
	IPR Tuiuiu	68.5 a	14.6 a	100.4 a	28.3 b	7.1 a	5.8 a	78.7 a	14.7 a	723.4 a	39.5 a	54.3 a
	BRSMG Uai	72.0 a	14.7 a	110.6 a	28.7 b	7.1 a	5.7 a	86.5 a	15.9 a	777.0 a	44.4 a	61.8 a
	Média	59.5	11.6	72.6	24.5	5.9	4.8	66.1	11.7	656.0	34.8	50.5
	C. V %	19.6	18.0	17.2	16.7	18.9	17.1	15.5	15.5	26.2	29.5	30.5
Pod formation	TAA Dama	85.5 a	24.1 a	125.1 a	59.4 a	12.7 a	9.9 a	136.0 a	29.1 a	1083.6 a	61.2 a	91.0 b
	BRS Estilo	101.8 a	27.0 a	170.3 a	67.1 a	14.2 a	11.2 a	149.6 a	36.2 a	1670.1 a	75.9 a	122.5 a
	BRS FC 104	132.0 a	33.7 a	152.8 a	81.9 a	16.8 a	13.5 a	199.4 a	40.2 a	1335.1 a	88.6 a	143.4 a
	TAA Gol	113.0 a	35.3 a	168.2 a	76.0 a	16.3 a	13.4 a	206.1 b	41.5 a	2005.2 a	89.0 a	136.9 a
	BRSMG Marte	79.4 a	24.0 a	131.7 a	52.9 a	11.0 a	9.1 a	129.4 a	27.5 a	847.0 a	53.5 a	93.1 b
	Pérola	100.7 a	30.8 a	164.6 a	67.8 a	14.9 a	12.0 a	157.0 a	40.2 a	1839.0 a	86.4 a	128.9 a
	IPR Tuiuiu	67.2 a	20.9 a	120.8 a	59.7 a	11.7 a	9.2 a	126.0 a	27.6 a	1155.4 a	63.9 a	75.1 b
	BRSMG Uai	89.1 a	27.5 a	176.5 a	72.7 a	14.3 a	11.1 a	164.6 a	34.1 a	1432.4 a	72.3 a	104.3 b
	Média	96.1	27.9	151.3	67.2	14.0	11.2	158.5	34.6	1421.0	73.9	111.9
	C. V %	13.43+	24.2	21.6	28.1	24.6	23.7	20.1	23.1	20.8+	25.1	22.3
Pod filling	TAA Dama	93.0 a	18.3 a	96.6 a	46.2 a	10.2 a	7.7 a	99.1 a	21.6 a	676.3 a	46.0 a	76.5 a
	BRS Estilo	125.2 a	28.4 a	139.0 a	69.6 a	15.1 a	11.8 a	170.9 a	31.4 a	1077.3 a	93.7 a	129.2 a
	BRS FC 104	139.8 a	30.8 a	147.4 a	66.3 a	15.6 a	12.0 a	172.4 a	30.3 a	990.7 a	90.3 a	131.2 a
	TAA Gol	149.9 a	36.9 a	153.3 a	77.4 a	19.8 a	14.8 a	214.5 a	35.5 a	1472.8 a	115.2 a	134.4 a
	BRSMG Marte	123.3 a	28.7 a	154.6 a	65.8 a	14.6 a	11.2 a	147.8 a	31.1 a	948.5 a	80.8 a	112.2 a
	Pérola	104.8 a	24.1 a	122.3 a	52.6 a	12.0 a	9.5 a	133.7 a	25.0 a	635.1 a	74.7 a	90.9 a
	IPR Tuiuiu	99.1 a	21.9 a	115.6 a	53.6 a	12.5 a	9.4 a	126.6 a	26.3 a	810.7 a	55.0 a	76.8 a
	BRSMG Uai	95.4 a	22.4 a	125.9 a	50.0 a	10.7 a	8.2 a	132.7 a	20.4 a	569.5 a	49.5 a	68.8 a
	Média	116.3	26.4	131.8	60.2	13.8	10.6	149.7	27.7	897.6	75.7	102.5
	C. V %	14.7+	14.32+	28.8	29.7	16.0+	15.0+	13.9+	13.9+	19.8+	20.4+	16.2+
Physiological maturation	TAA Dama	218.2 a	61.0 a	246.2 a	124.2 a	39.2 a	27.4 a	312.1 a	38.8 a	3621.5 a	145.4 a	286.2 a
	BRS Estilo	165.0 a	47.8 a	226.6 a	87.3 a	28.8 a	21.0 a	288.2 a	31.2 a	4641.5 a	178.4 a	232.7 a
	BRS FC 104	160.4 a	45.0 a	176.3 a	80.1 a	23.7 a	18.4 a	232.8 a	29.6 a	1892.1 a	120.5 a	203.4 a
	TAA Gol	167.3 a	46.4 a	221.1 a	104.2 a	29.3 a	21.5 a	281.6 a	32.0 a	2714.8 a	195.5 a	224.9 a
	BRSMG Marte	185.8 a	55.8 a	222.6 a	78.5 a	25.3 a	19.8 a	222.1 a	28.3 a	1251.0 a	115.4 a	244.5 a
	Pérola	156.9 a	45.4 a	201.2 a	66.7 a	26.0 a	19.0 a	253.6 a	29.4 a	1691.2 a	88.2 a	185.4 a
	IPR Tuiuiu	205.9 a	58.3 a	223.0 a	99.2 a	31.3 a	23.6 a	313.9 a	36.3 a	3218.5 a	152.9 a	303.4 a
	BRSMG Uai	177.5 a	55.8 a	195.4 a	77.4 a	22.3 a	17.4 a	240.1 a	27.3 a	2284.7 a	127.0 a	198.3 a
	Média	179.6	51.9	214.0	89.7	28.2	21.0	268.0	31.6	2664.4	140.4	234.8
	C. V %	22.9	22.0	29.5	42.8	35.4	31.5	33.5	29.2	46.7	35.0	33.4

Table 4. Accumulation of macronutrients and micronutrients in the whole plant of bean throughout the post-sowing period (Days after sowing – DAS).

	Cultivar	Regression equation	R²		Cultivar	Regression equation	R²
	N	3.1702x - 74.501	0.96		N	2.211x - 28.212	0.91
	P₂O₅	0.9225x - 25.592	0.95		P₂O₅	0.6913x - 13.702	0.90
TAA Dama	K₂O	3.7176x - 91.879	0.96	BRSMG Marte	K₂O	2.9923x - 43.67	0.81
	Ca	1.8823x - 49.107	0.98		Ca	1.0099x - 9.2761	0.64
	Mg	0.5934x - 17.696	0.94		Mg	0.3943x - 8.633	0.94
	S	0.4101x - 11.659	0.94		S	0.2852x - 5.6617	0.92
	B	4.7678x - 132.33	0.96		B	3.8521x - 79.207	0.93
	Cu	0.5694x - 12.253	0.92		Cu	0.5358x - 8.5268	0.60
	Mn	2.0979x - 52.729	0.94		Mn	1.9874x - 44.202	0.68
	Zn	4.2369x - 120.84	0.91		Zn	4.179x - 109.97	0.99
	Fe	52.14x - 1509.5	0.88		Fe	20.418x - 280.42	0.82
BRS Estilo	N	2.5982x - 51.547	0.93	Pérola	N	2.211x - 28.212	0.91
	P₂O₅	0.7621x - 17.985	0.96		P₂O₅	0.6913x - 13.702	0.90
	K₂O	3.6342x - 77.852	0.91		K₂O	2.9923x - 43.67	0.81
	Ca	1.4486x - 29.125	0.85		Ca	1.0099x - 9.2761	0.64
	Mg	0.4519x - 11.347	0.98		Mg	0.3943x - 8.633	0.94
	S	0.3278x - 7.7655	0.97		S	0.2852x - 5.6617	0.92
	B	4.4613x - 113.11	0.97		B	3.8521x - 79.207	0.93
	Cu	0.5583x - 9.4929	0.66		Cu	0.4787x - 3.9684	0.45
	Mn	2.7467x - 68.953	0.98		Mn	1.2991x - 9.653	0.68
Zn	3.6967x - 92.073	0.97	Zn	2.7587x - 50.859	0.87		
Fe		0.93	Fe	23.989x - 257.61	0.49		
BRS FC104	N	2.8508x - 34.23	0.81	IPR Tuiuiu	N	2.9355x - 67.178	0.96
	P₂O₅	0.8123x - 14.237	0.87		P₂O₅	0.8623x - 22.432	0.97
	K₂O	3.442x - 45.582	0.81		K₂O	3.2165x - 60.871	0.94
	Ca	1.4811x - 19.094	0.69		Ca	1.4955x - 31.193	0.96
	Mg	0.4268x - 7.7733	0.89		Mg	0.4718x - 12.472	0.98
	S	0.3242x - 5.4516	0.85		S	0.3493x - 8.8388	0.98
	B	4.2534x - 66.864	0.80		B	4.6974x - 119.24	0.98
	Cu	0.5935x - 6.6714	0.54		Cu	0.5542x - 8.9351	0.87
	Mn	2.0757x - 28.821	0.88		Mn	2.2327x - 54.458	0.96
Zn	3.6445x - 65.067	0.89	Zn	4.5172x - 135.9	0.91		
Fe	31.274x - 487.67	0.87	Fe	46.686x - 1249.3	0.92		
TAA Gol	N	2.9793x - 42.504	0.89	BRSMG Uai	N	2.5951x - 51.424	0.96
	P₂O₅	0.8794x - 16.081	0.86		P₂O₅	0.861x - 21.716	0.96
	K₂O	3.9522x - 67.128	0.89		K₂O	2.966x - 39.844	0.71
	Ca	1.9324x - 34.368	0.84		Ca	1.2082x - 19.507	0.76
	Mg	0.547x - 11.693	0.93		Mg	0.3444x - 7.6123	0.93
	S	0.3947x - 7.76996	0.91		S	0.2658x - 5.6683	0.91
	B	5.2838 x - 99.933	0.88		B	3.6638x - 71.796	0.90
	Cu	0.6619x - 8.0759	0.56		Cu	0.4233x - 3.7999	0.54
	Mn	3.394x - 70.504	0.93		Mn	1.8687x - 40.556	0.91
Zn	4.0824x - 84.518	0.94	Zn	2.9782x - 71.979	0.93		
Fe	47.061x - 745.15	0.79	Fe	33.001x - 744.63	0.83		

Although there were differences in the rate of nutrient uptake among the cultivars (Table 5), in general, the nutrient exports per hectare or per ton of grains were similar. The only exception was observed for K, which was exported in smaller quantities by the BRS Estilo, BRS FC104 and TAA Gol cultivars (Table 5). These cultivars exported, on average, 66.5, 69.2 and 65.7 kg ha⁻¹ K₂O.

At the average grain production of 2652.3 kg ha⁻¹, the average export rates of N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg and S were 87.5, 29, 85, 5.2, 5.9 and 6.1 kg ha⁻¹, respectively. Regarding the micronutrients, 40, 10, 224, 34 and 91 g ha⁻¹ B, Cu, Fe, Mn and Zn, respectively, were exported.

Macronutrient exports per ton of grain were similar between cultivars (Table 6). On average, 33.1, 11.1, 32.0, 1.5, 2.2 and 2.3 kg Mg⁻¹ grains of N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg and S,

respectively, were exported. The only exception was Mg, which was exported in smaller quantities by the BRSMG Marte strain, with 1.8 kg Mg⁻¹. The average export of micronutrients was 14.2, 3.7, 69.5, 13.0 and 34.3 g Mg⁻¹ for B, Cu, Fe, Mn and Zn, respectively.

When contrasting the bean types, the type II cultivars (BRS Estilo, BRSMG Marte, Tuiuiu and BRSMG Uai) had greater exports of P, K, Mg and Zn than the type I cultivars (BRS FC104 and TAA Gol) (Table 6). The type III cultivars exported more Mg than the type II cultivars. The early cultivars, in general, exported lower amounts of nutrients than the later cultivars, except for Ca, Fe and Mn, which were exported in greater quantities.

Table 5. Nutrient exports by the bean cultivars TAA Dama, BRS Estilo, BRS FC 104, TAA Gol, Pérola, IPR Tuiuiu, BRSMG Uai and BRSMG Marte per hectare of production.

Cultivar	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹				
TAA Dama	99.2 a	30.8 a	94.0 a	9.3 a	8.4 a	7.9 a	53.4 a	12.4 a	273.5 a	34.2 a	104.4 a
BRS Estilo	64.2 a	22.6 a	66.5 b	3.9 a	4.8 a	4.9 a	33.4 a	6.8 a	241.3 a	29.4 a	72.3 a
BRS FC 104	73.7 a	25.6 a	69.2 b	1.9 a	4.0 a	4.6 a	29.7 a	7.6 a	140.8 a	29.4 a	75.1 a
TAA Gol	72.0 a	23.0 a	65.7 b	5.7 a	4.9 a	5.0 a	33.8 a	7.5 a	203.4 a	28.3 a	70.0 a
BRSMG Marte	103.8 a	36.9 a	102.9 a	3.7 a	5.4 a	6.3 a	36.7 a	11.0 a	208.1 a	39.2 a	117.9 a
Pérola	86.0 a	28.0 a	84.8 a	6.9 a	6.8 a	6.5 a	43.0 a	10.9 a	202.0 a	30.7 a	86.6 a
IPR Tuiuiu	106.4 a	34.5 a	101.2 a	6.3 a	7.1 a	7.3 a	49.0 a	13.4 a	338.8 a	42.2 a	104.5 a
BRSMG Uai	94.5 a	34.1 a	94.8 a	3.7 a	5.8 a	6.3 a	43.2 a	10.9 a	187.8 a	40.8 a	99.5 a
Tipo I x II	-19.4 ^{ns}	-7.7 ^s	-23.9 ^s	-0.6 ^{ns}	-1.3 ^{ns}	-1.4 ^{ns}	-8.8 ^{ns}	-2.9 ^{ns}	-71.9 ^{ns}	-9.0 ^s	-26.0 ^s
Tipo I x III	-19.7 ^{ns}	-5.1 ^{ns}	-22.0 ^s	-4.3 ^{ns}	-3.2 ^s	-2.5 ^s	-16.4 ^s	-4.1 ^{ns}	-65.7 ^{ns}	-3.5 ^{ns}	-22.9 ^{ns}
Tipo II x III	-0.4 ^{ns}	2.6 ^{ns}	1.9 ^{ns}	-3.7 ^{ns}	-1.8 ^s	-1.0 ^{ns}	-7.6 ^{ns}	-1.1 ^{ns}	6.2 ^{ns}	5.5 ^{ns}	3.1 ^{ns}
Early x Later	-19.5 ^s	-3.0 ^s	-23.2 ^s	-2.3 ^{ns}	-1.9 ^s	-1.8 ^s	-11.3 ^s	-3.3 ^s	-69.8 ^{ns}	-7.0 ^{ns}	-25.0 ^s
Mean	87.5	29.4	84.9	5.2	5.9	6.1	40.3	10.1	224.5	34.3	91.3
C. V ¹ %	20.8	20.7	18.5	38.4+	27.6	23.2	28.6	32.4	52.4	23.6	23.9

Means followed by the same letter in a column do not differ according to the Scott-Knott test at a 5% significance level. ^{ns}: Nonsignificant. Differences were determined by the Scheffe test at a 5% probability level. + Transformed data. CV: Coefficient of variation.

Observations:

Type I cultivars: BRS FC104 and TAA Gol; Type II cultivars: BRS Estilo, BRSMG Marte, IPR Tuiuiu and BRSMG Uai

Type III cultivars: TAA Dama and Pérola; Early cultivars: BRS FC104 and TAA Gol.

Table 6. Extraction of nutrients by the bean plant cultivars TAA Dama, BRS Estilo, BRS FC 104, TAA Gol, Pérola, IPR Tuiuiu, BRSMG Uai and line BRSMG Marte for every thousand kilograms of grains produced.

Cultivar	kg Mg ⁻¹						g Mg ⁻¹					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
TAA Dama	30.3 a	9,4 a	28.7 a	1.4 a	2.5 a	2.4 a	16.1 a	3.5 a	81.6 a	10.7 a	31.6 a	
BRS Estilo	31.6 a	11,1 a	32.7 a	1.0 a	2.4 a	2.4 a	16.6 a	3.4 a	63.6 a	14.3 a	35.8 a	
BRS FC 104	34.6 a	12,0 a	32.4 a	0.9 a	1.9 a	2.1 a	13.9 a	3.6 a	66.0 a	13.8 a	35.2 a	
TAA Gol	33.5 a	10,6 a	30.3 a	1.5 a	2.2 a	2.3 a	15.2 a	3.3 a	64.7 a	13.0 a	31.6 a	
BRSMG Marte	34.6 a	12,4 a	34.6 a	1.3 a	1.8 b	2.1 a	12.4 a	3.7 a	69.9 a	13.1 a	39.5 a	
Pérola	31.5 a	10,2 a	30.8 a	2.4 a	2.5 a	2.4 a	15.5 a	3.9 a	72.2 a	11.2 a	31.4 a	
IPR Tuiuiu	33.8 a	10,9 a	32.1 a	2.0 a	2.2 a	2.3 a	15.5 a	4.3 a	68.0 a	13.4 a	33.3 a	
BRSMG Uai	34.6 a	12,5 a	34.7 a	1.4 a	2.1 a	2.3 a	15.9 a	4.0 a	69.8 a	14.9 a	36.2 a	
Mean	33.1	11,1	32,0	1.5	2.2	2.3	14,2	3.7	69.5	13.0	34.3	
C. V ¹ %	8.7	13.8	8.3	23.2+	9.7	5.7	15.1	23.8	13.3	15.5	10.7	

Means followed by the same letter in a column do not differ according to the Scott–Knott test at a 5% significance level. ^{ns}: Nonsignificant. Differences were determined by the Scheffe test at a 5% probability level. + Transformed data. CV: Coefficient of variation.

4 Discussion

The initial growth of the early cultivars (type I, TAA Gol and BRS FC104) was higher than that of the other cultivars (types II and III), which can be confirmed by the greater accumulation of DM in the type I cultivars in stage V4, when the plants had 3 or 5 trifoliate leaves (Table 3). In turn, the later cultivars (type III) had higher DM values than the early cultivars only close to flowering (R5-preflowering), after the vegetative phase. This was expected, since the early cultivars have determinate growth, with fast initial growth and the termination of vegetative growth after flowering, while the type III cultivars (indeterminate) continue to grow and produce new leaves after the beginning of flowering (Singh 1981). However, beginning in R7 there were no differences in the accumulated DM between the cultivars. Padilla-Chacón et al. (2019) suggest that the differences in DM accumulation between cultivars after flowering occur mainly under water stress conditions, in which the indeterminate cultivars (type III) perform better. In our study, there was no water stress after flowering, thus explaining the similar behaviors of the cultivars.

The TAA Gol and BRS FC104 cultivars also showed higher initial nutrient accumulation, especially N accumulation (Table 4). In the study by Silva and Moreira (2022), higher initial nutrient accumulation was also observed for the early cultivar TAA Gol, which demonstrates the need for studies to define suitable stages for topdressing fertilization for these earlier bean cultivars. Historically, topdressing nitrogen fertilization was applied to bean plants

when they reached the V4 stage (Araujo et al. 1994). However, because determinate plants practically complete their growth before flowering (Singh 1981), it is believed that delays in topdressing fertilization as well as cultivation in nutrient-poor soils lead to limited development before flowering, thereby affecting plant yield. As the final amounts of accumulated nutrients were equivalent between cultivars, the rates used would likely be the same. A search performed on May 28, 2022, in the Google Scholar database for studies from the last five years on the fertilization period of bean crops returned 1270 studies, but only one evaluated fertilization in early cultivars. As concluded by Damian et al. (2017), the recommendations for nitrogen fertilization for common bean in Brazil should be revised, considering the groups of cultivars with different growth habits.

Considering the higher nutrient requirements of the TAA Gol and BRS FC104 cultivars in the early stages of development and the speed of development before flowering (mean of 37 days between sowing and flowering in this study), they would probably not be recommended for soils with low fertility. Under these conditions, these cultivars would have very little time to acquire nutrients for growth before flowering compared to the later cultivars (types II and III), which take longer to start flowering and continue their growth after the beginning of flowering. According to the National Cultivars Registry (2022), in Brazil the cultivars TAA Gol and BRS FC104 flower 30 days after emergence (DAE) and complete their cycles at 70 and 65 days, respectively. Importantly, type I cultivars are determinate; therefore, they show high vegetative development only until flowering (Singh 1981). Thus, it is important that soil fertility is not a limiting factor for the initial development of plants before flowering.

The MHI is one of the efficiency parameters for the conversion of acquired nutrients into final yield (Donald and Hamblin 1976), so it was expected that modern cultivars, such as those included in the present study, would have high MHI values. This pattern was not observed in the cultivars evaluated in this study. Araújo and Teixeira et al. (2012) reported that with the advancement of breeding programs, there is a trend of indirect selection of bean genotypes with higher MHIs and that a genotype with a high MHI does not necessarily have high grain yield. Scully et al. (1991) observed a weak correlation between grain yield and the MHI of 112 bean cultivars, indicating that breeding programs did not use this index for the selection of new cultivars.

In the present study, the MHI did not vary with the growth type of the cultivars, being on average 45.9%. Araújo and Teixeira (2003), evaluating 18 bean cultivars, determined that cultivars belonging to types I, II and III had MHIs of 55, 58 and 61%, respectively. On the other hand, even though the MHIs of the cultivars evaluated in the present study were lower than

those of the older cultivars studied by Araújo and Teixeira (2003), the average yield of these cultivars was above 2600 kg ha⁻¹, while those evaluated by Araújo and Teixeira (2003) had an average yield of 1130 kg ha⁻¹.

Although the average yield of the cultivars studied did not reach 4.446 kg ha⁻¹, the value observed by Flores et al. (2018) for the cultivar BRS Estilo under irrigation, it was more than 2.5 times higher than the average yield reported in Brazil, which is approximately 1000 kg ha⁻¹ (CONAB 2021). Although the total rainfall (691 mm) was greater than that required by the crop, 600 mm according to Pereira et al. (2014), there were 34 days without rain during the crop cycle. There may have been a water deficit that restricted grain yield and prevented the crops from producing the yield reported by Flores et al. (2018).

The export of nutrients did not vary among the cultivars studied (Table 6), except for that of K₂O, which was smaller in the cultivars BRS Estilo, TAA Gol and BRS FC104. According to Westermann et al. (2011), bean genotypes with higher DM production generally have higher nutrient extraction. However, the amounts of nutrients exported by the cultivars in the present study were larger than those exported by the genotypes studied by Westermann et al. (2011), with an average yield of 3450 kg ha⁻¹. The differences in the exported amounts of nutrients may be linked to genetic variability among the cultivars (Bulyaba et al. 2020).

In the present study, for example, the group of type II cultivars (BRS Estilo, BRSMG Marte, IPR Tuiú and BRSMG Uai) evaluated together exported more P, K, Mg and Zn than the group of type I cultivars (BRS FC104 and TAA Gol) and produced similar numbers of grains per hectare. Zañão Júnior et al. (2018) also evaluated type I and II cultivars and found no differences in nutrient export. On the other hand, variability among the cultivars in the absorption of nutrients may be desired, especially when considering increases in the amount of nutrients per kg of grains, aiming to increase the nutritional value of the grain (Khush et al. 2012). Increased Zn export in bean grains, for example, is one of the goals of many crops improvement programs, since Zn is one of the most deficient nutrients in humans, especially in underdeveloped countries (Stanton et al. 2022). Thus, the mean of 38 mg kg⁻¹ found in this study can be considered high when compared to that observed in other studies (Cabraia et al. 2019; Jalal et al. 2021; Kachinski et al. 2020; Mukankusi et al. 2020).

The typical order of exported nutrients in the cultivars studied was N > K > P > S > Mg > Ca > Fe > Zn > B > Mn > Cu. Fageria et al. (2013) observed that the nutrient export sequence for the BRS Valente cultivar was N > K > Ca > Mg > P > Fe > Mn > Zn > Cu. These small differences observed mainly for micronutrients are due to genetic variability between cultivars (Bulyaba et al. 2020).

5 Conclusions

The type I early cultivars TAA Gol and BRS FC104 had higher DM and nutrient accumulation at the beginning of stage V4 (when plants had 3 trifoliolate leaves) than the type II and III cultivars.

Until stage 4.5 (when plants had 5 trifoliolate leaves), the BRSMG Marte TAA Dama and BRSMG Uai cultivars strain had lower vegetative development, with DM production of less than 500 kg ha⁻¹.

Beginning in the R8 stage there were no differences in nutrient extraction between cultivars. Among the macronutrients, K was the most extracted by the bean plants, and N was the most exported. Among the micronutrients, Fe showed higher accumulation.

The group of type II cultivars (BRS Estilo, BRSMG Marte, Tuiuiu and BRSMG Uai) exported more P, K, Mg and Zn than the group of type I cultivars (BRS FC104 and TAA Gol). The group of type III cultivars exported more magnesium than the group of type II cultivars.

The mean harvest index (MHI) was 45.89%;

6 References

- Araújo GAA, Vieira C, Miranda GV. 1994. Efeito da época de aplicação do adubo nitrogenado em cobertura sobre rendimento do feijão, no período de outono-inverno. *Ceres*, 41(236).
- Araújo AP and Teixeira MG. 2003. Nitrogen and phosphorus harvest indices of common bean cultivars: Implications for yield quantity and quality. *Plant Soil*, 2(257):425-433.
- Araújo AP, Teixeira MG. 2012. Variabilidade dos índices de colheita de nutrientes em genótipos de feijoeiro e sua relação com a produção de grãos. *Rev Bra Ciênc Solo*. 36:137-146. [doi:/10.1590/S0100-06832012000100015](https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100015).
- Atique-Ur-Rehmar, Rashid A, Nadeem F, Stuerz S, Asch F, Bell RW, Siddique K H. 2018. Boron nutrition of rice in different production systems. A review. *Agron Sustain Develop*. 38(3):1-24. [doi:/10.1007/s13593-018-0504-8](https://doi.org/10.1007/s13593-018-0504-8).
- Barrett CB. 2021. Overcoming global food security challenges through science and solidarity. *Amer Jour Agri Econ*. 103(2):422-447. [doi:/10.1111/ajae.12160](https://doi.org/10.1111/ajae.12160).
- Baez-Gonzalez AD, Fajardo-Diaz R, Padilla-Ramirez JS, Osuna-Ceja ES, Kiniry JR, Meki MN, Acosta-Díaz E. 2020. Yield Performance and Response to High Plant Densities of Dry Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivars under Semi-Arid Conditions. *Agronomy*. 10(11):1684. [doi:/10.3390/agronomy10111684](https://doi.org/10.3390/agronomy10111684).
- Bulyaba R, Winham DM, Lenssen AW, Moore KJ, Kelly JD, Brick MA, Wright EM, Ogg JB. 2020. Genotype by location effects on yield and seed nutrient composition of common bean. *Agronomy*. 10(3):347. [doi:/10.3390/agronomy10030347](https://doi.org/10.3390/agronomy10030347).

Câmara CRS, Urrea CA, Schlegel, V. 2013. Pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as a functional food: implications on human health. *Agriculture*. 3(1):90-111. [doi:/10.3390/agriculture3010090](https://doi.org/10.3390/agriculture3010090).

Cambraria TLL, Fontes RLF, Vergütz L, Vieira RF, Neves JCL, Corrêa Netto PS, Dias RFN. 2019. Agronomic biofortification of common bean grain with zinc. *Pesq Agrop Bras*. (54)01003. [doi:/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.01003](https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.01003).

Carbas B, Machado N, Pathania S, Brites C, Rosa EA, Barros AI. 2021. Potential of Legumes: Nutritional Value, Bioactive Properties, Innovative Food Products, and Application of Eco-friendly Tools for Their Assessment. *Food Revs Intern*. 1-29. [doi:/10.1080/87559129.2021.1901292](https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1901292).

Damian JM, Santi AL, Cherubin MR, Castro Pias OH, Simon DH, Silva RF. 2018. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio para o feijoeiro cultivado na safrinha. *Agrarian*, 11(40):105-113. doi:10.30612/agrarian.v11i40.4700.

Dawson IK, Powell W, Hendre P, Bančić J, Hickey JM, Kindt R, Jamnadass R. 2019. The role of genetics in mainstreaming the production of new and orphan crops to diversify food systems and support human nutrition. *New Phytologist*. 224(1):37-54. doi:10.1111/nph.15895

De Oliveira LFC, Oliveira MDC, Wendland A., Heinemann AB, Guimarães C M, Ferreira EDB, Da Silva SC. 2018. Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos.

Donald CM, Hamblin J. 2013. 1976. The Biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Advances agron*. 28:361-405. [doi: 10.1016/S0065-2113\(08\)60559-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60559-3).

Santos, HG dos, Jacomine, PKT, Anjos, LHC dos, Oliveira, VA. de, Lumberras, JF, Coelho, MR, Almeida, JA de, Araújo Filho, JC de, Oliveira, JB de, Cunha, TJF, 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, fifth ed. Embrapa Solos, Brasília. (<https://www.embrapa.br/en/solos/sibcs>).

Fernández-López J, Botella-Martínez C, Navarro-Rodríguez De Vera C, Sayas-Barberá ME, Viuda-Martos M, Sánchez-Zapata E, Pérez-Álvarez JA. 2020. Vegetable Soups and Creams: Raw Materials, Processing, Health Benefits, and Innovation Trends. *Plants*. 9(12):1769. doi: 10.3390/plants9121769

Flores RA, Alves RR, Pinheiro CP, Damin V, Artins AE, Abdala OK, Cardoso D M. 2018. Grain yield of *Phaseolus vulgaris* in a function of application of boron in soil. *Jour soil sci plant nutr*. 18(1):144-156. doi:10.4067/S0718-95162018005000701

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Food and Agriculture Organization of The United Nations Statistics – FAOSTAT: Statistical Database. 2021 Rome: FAO.

Fróna D, Szenderák J, Harangi-Rákos M. 2019. The Challenge Of Feeding The World. Sustainability. 11(20):5816. doi: 10.3390/su11205816

Jalal A, Galindo FS, Boleta EHM, Oliveira CEDS, Reis ARD, Nogueira TAR, Teixeira Filho MCM. 2021. Common Bean Yield and Zinc Use Efficiency in Association with Diazotrophic Bacteria Co-Inoculations. *Agronomy*.11(5):959. doi: 10.3390/agronomy11050959

Justes, E., Bedoussac, L., Dordas, C., Frak, E., Louarn, G., Boudsocq, S., Li, L. (2021). The 4C approach as a way to understand species interactions determining intercropping productivity. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 8(3), 3. Doi: <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2021414>

Kachinski WD, Ávila FW, Muller MML, Reis ARD, Rampim L, Vidigal JCB. 2020. Nutrition, yield and nutrient export in common bean under zinc fertilization in no-till system. *Ciênc Agrotec*. 44. doi: 10.1590/1413-7054202044029019

Khush GS, Lee S, Cho JI, Jeon JS. 2012. Biofortification of crops for reducing malnutrition. *Plant Biotech Repor*, 6(3):195-202. doi: 10.1007/s11816-012-0216-5

Leal FT, Filla VA, Bettiol JVT, Sandrini FDOT, Mingotte FLC, Lemos LB. 2019. Use efficiency and responsivity to nitrogen of common bean cultivars. *Ciênc Agrotec*. 43. doi: 10.1590/1413-7054201943004919

Malavolta, E, Vitti, G C, Oliveira, SAD. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba, POTAFOS

Mukankusi C, Cowling WA, Siddique KH, Li L, Kinghorn B, Rubyogo JC. 2020. Diversity Breeding Program on Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Targeting Rapid Cooking and Iron and Zinc Biofortification. *Multidisc Dig Publ Inst Proceed*. 36(1):194. doi: 10.3390/proceedings2019036194

Moreira SG, Oliveira DP, Silva CA, Menezes MD, Silva DRG, Botrel EP, Lopes AS Andrade MJB. 2018. Cultivo de feijão em sistema de plantio direto no cerrado. *Inf Agrop*. 39:302.

Nascimento GH, Moraes LC, Moreira SG, Martins FAD, Pimentel GV. 2021. Fator de adubação associado ao índice de suficiência de nitrogênio na adubação nitrogenada em cobertura de feijão-comum. *Pesq Agrop Trop*. 51:69160. doi: 10.1590/1983-40632021v5169160

Nyoki D, Ndakidemi PA. 2018. Rhizobium inoculation reduces P and K fertilization requirement in corn-soybean intercropping. *Rhizosphere*. 5:51-56. doi: 10.1016/j.rhisph.2017.12.002

Padilla-Chacón D, Valdivia CP, García-Esteva A, Cayetano-Marcial MI, Shibata JK. 2019. Phenotypic variation and biomass partitioning during post-flowering in two common bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.) under water restriction. *Sout Afri Jour Bot*. 121:98-104. doi: 10.1016/j.sajb.2018.10.031

Singh SP. 1981. A key for identification of different growth habits of *Phaseolus vulgaris* L. Soil Survey Staff, 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th edition. United States Department of Agriculture, Washington. D.C. USA.

Souza DMG, Lobato E. 2004. Calagem e adubação para cultura anuais e semiperenes.

Cerrado: correção do solo e adubação.

Stanton C, Sanders D, Krämer U, Podar D. 2021. Zinc in plants: Integrating homeostasis and biofortification. *Molecular Plant*.

Vasconcelos, C. V., Costa, A. C., Müller, C., Castoldi, G., Costa, A. M., de Paula Barbosa, K., Da Silva, A. A. (2020). Potential of calcium nitrate to mitigate the aluminum toxicity in *Phaseolus vulgaris*: effects on morphoanatomical traits, mineral nutrition and photosynthesis. *Ecotoxicology*, 29(2), 203-216. doi: 10.1007/s10646-020-02168-6

Westermann D, Terán H, Muñoz-Perea C, Singh S. 2011. Plant and seed nutrient uptake in common bean in seven organic and conventional production systems. *Canad Jour Plant Scie.* 91(6):1089-1099. doi: 10.4141/cjps10114

Yokoyama LP, Del Peloso MJ, Di Stefano JG, Yokoyama M. 1999. Nível de aceitabilidade da cultivar de feijão “Pérola”: avaliação preliminar. Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 98. Santo Antônio de Goiás.

Zanão Júnior LA, Rosa A, Pereira N, Pescador RB, Andrade EA. 2018. Yield and nutrient uptake of common bean cultivars as affected by plant population and growing season. *Jour Agricl Sci.* 10:308-315. doi: 10.5539/jas.v10n10p308

Zilio M, Souza CA, Coelho CMM. 2017 Diversidade fenotípica de nutrientes e anti-nutriente em grãos de feijão cultivados em diferentes locais. *Rev Bras Ciênc Agra.* 12(4):526-534. doi: 10.5039/agraria.v12i4a5490

ARTIGO 2 – Exportação de nutrientes pela cultura do feijão: uma revisão sistemática e meta-análise

RESUMO

Em solos com teores adequados e altos de nutrientes é possível estimar a adubação da cultura apenas fazendo-se a adubação de manutenção e reposição, respectivamente, que consistem em aplicar ao solo as quantidades de nutrientes extraídas por toda a parte aérea da planta (manutenção) ou apenas as quantidades de nutrientes exportadas nos grãos (reposição). No entanto, os dados disponíveis para recomendação não discriminam os tipos de cultivares (tipos I, II, III ou IV), além de que muitos deles foram elaborados com base em cultivares antigos, sendo a maioria dos cultivares avaliados de crescimento indeterminados, tipo III. Assim, com a presente revisão sistemática e meta-análise objetivou-se identificar os últimos trabalhos sobre exportação dos nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) por unidade de grão de feijão produzida, buscando-se verificar as diferenças entre as cultivares tipo I, II, III e IV. A pesquisa das publicações foi realizada por meios eletrônicos nas páginas do Web of Science e Google Scholar, com as seguintes palavras-chave: “*Phaseolus vulgaris*” e “nutrient uptake”, sendo selecionados 11 artigos. Devido à grande heterogeneidade dos dados não foi prosseguida a meta-análise. Os estudos indicam que as exportações médias de N, P e K por tonelada de grãos de feijão foram 32,7, 3,5 e 15,4 kg Mg⁻¹ respectivamente. As exportações médias de N, P e K por hectare, considerando-se a produtividade média obtida nos estudos de 2673 kg ha⁻¹, foi de 77,6, 8,3 e 36,8 kg ha⁻¹, respectivamente.

1 INTRODUÇÃO

O feijão-comum é uma cultura com grande potencial para contribuir com a segurança alimentar de todo mundo, pois seus grãos são ricos em proteínas, vitaminas e micronutrientes como Zn e Fe (SMITH & RAO, 2021). Além das características nutricionais, o feijão também é reconhecido pelo seu potencial agrônomico. Entre suas vantagens estão ciclo curto e a possibilidade da exploração da simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio, com potencial para reduzir o uso do nutriente por unidade de grão produzida. O feijoeiro é uma cultura promissora, mas ainda há necessidade de estudos e definição de manejos para a cultura, principalmente adubação, principalmente por serem cultivadas diferentes cultivares no mundo, com diferentes tipos e hábitos de crescimento (de OLIVEIRA et al., 2018; SILVA & MOREIRA, 2022). Países como o Brasil vem substituindo há cerca de 15 anos as cultivares indeterminadas e prostadas, classificadas como do tipo III, por cultivares mais eretas, com menor grau de indeterminação, como as do tipo II ou por cultivares determinadas e eretas como as do tipo I. Isso tem ocorrido porque as cultivares mais eretas (tipos I e II) são colhidas de forma mecanizada mais facilmente do que as cultivares prostadas (tipo III). Embora as cultivares tipos II e III sejam geralmente mais tardias e com maior desenvolvimento vegetativo

do que as tipo I (de OLIVEIRA et al., 2018), pouca distinção tem sido feito no momento de recomendação de fertilizantes entre os diferentes tipos de feijão.

Um dos métodos utilizados para determinar as doses de fertilizantes para as culturas, e assim diminuir o seu uso inadequado, é baseado em metas de produtividade e taxas fixas de exportação do nutriente por unidade de grão produzida (LUNIKA et al., 2001; SALVAGIOTTI et al., 2008). Geralmente, em solos com teores adequados e altos de nutrientes é possível estimar a adubação da cultura apenas fazendo-se a adubação de manutenção e reposição, respectivamente. Ambas as formas de adubação se baseiam nas expectativas de produtividade. A adubação de manutenção baseia-se na aplicação das quantidades de nutrientes extraídas por tonelada de massa seca da parte aérea e a adubação de reposição, na aplicação das quantidades dos nutrientes por cada tonelada de grãos colhida (WUTKE et al., 2022).

Alguns autores mostraram evidências de que cultivares de feijão apresentam taxa de acúmulo de massa seca, extração e exportação de nutrientes diferentes de acordo com a duração do ciclo, cor do grão e tipo de crescimento da planta (LEAL et al., 2019; SILVA e MOREIRA, 2022; ZILIO et al., 2017). Além disso, muitos dados disponíveis principalmente nos boletins de recomendação de fertilizantes e corretivos do Brasil e possivelmente de outros países foram elaborados a partir de dados obtidos com cultivares mais antigas, não mais utilizadas pelos agricultores, o que encoraja os autores deste trabalho a buscar novas informações a partir de artigos publicados por pesquisadores brasileiros e estrangeiros.

É conhecido o fato de que as cultivares tipo I (determinadas) são mais precoces e completam seu ciclo com maior rapidez do que às cultivares do tipo II e III, que são mais tardias e indeterminadas (de OLIVEIRA et al., 2018). Meta-análises e revisões sistemáticas objetivando resumir as técnicas atuais para quantificação e para a aplicação de fertilizantes no solo e quantificar os efeitos relativos à adubação vem sendo realizadas para diversas culturas (Chandrasekaran, 2022; Linquist et al., 2013; Nkebiwe et al., 2016). Entretanto, não há estudos para o feijoeiro, principalmente com separação dos cultivares tipo I, II e III com relação à exigência nutricional e extração e exportação de nutrientes.

Atualmente tem que se buscar todas as maneiras para maximizar o aproveitamento dos fertilizantes em todo mundo, devido ao aumento de demanda e conflitos nos países exportadores, o que justifica este trabalho. O uso global de fertilizantes aumentou expressivamente nos últimos anos, como exemplo a demanda de P, saiu de 4,6 milhões de toneladas em 1961 para aproximadamente 21 milhões de toneladas em 2015 (MOGOLLON et al., 2018). Os conflitos atuais entre países exportadores afetaram o mercado global de fertilizantes, reduzindo a disponibilidade e aumentando os custos (Nordhagen et al., 2022).

A hipótese deste trabalho é que cultivares mais precoces de feijão (Tipo I) apresentam a mesma exportação de N, P e K por tonelada de grão do que as indeterminadas (Tipo II e III), cuja demanda total de nutrientes por hectare pode ser igual ou maior do que a das cultivares tipo II e III, dependendo das produtividades alcançadas. Diante disso, objetivou-se quantificar a exportação de nutrientes N, P e K a partir de dados publicados na literatura mundial para as cultivares de feijão-comum pertencentes a diversos grupos comerciais e hábitos de crescimento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados foram compilados a partir de estudos que avaliaram ou apresentaram as quantidades totais de N, P e K exportadas por cada tonelada de grãos de feijão-comum produzida. A meta-análise foi calculada com base na compilação de dados obtidos a partir de artigos científicos produzidos em todos os continentes. A pesquisa das publicações foi realizada por meios eletrônicos nas páginas do Web of Science e Google Scholar, com as seguintes palavras-chave: “Phaseolus vulgaris” e “nutrient uptake”. Devido à grande importância da língua inglesa no meio científico, ela foi utilizada como padrão. Buscou-se dessa forma aumentar o espectro de buscas dos estudos e consequentemente diminuir os riscos de viés. Em cada uma das bases de dados foi aplicado um filtro, como forma de eliminar artigos referentes a revisões.

A avaliação foi constituída por uma análise sobre a disponibilidade de dados obtidos, tendo como um primeiro critério de exclusão de trabalhos aqueles que apresentassem falta de dados exigidos como fundamentais para o desenvolvimento da meta-análise. O segundo critério de exclusão adotado foi que os estudos deveriam contemplar ao menos três amostras, mesmo que houvesse três repetições analíticas. Os parâmetros considerados como variáveis adotadas para a avaliação foram: produtividade, extração e exportação de N, P e/ou K. A metanálise realizada utilizou as seguintes informações: (μ) = média; ($SD\mu$) = desvio padrão da média; (n) = número de repetições. Nos casos em que o desvio padrão não foi apresentado, o desvio foi estimado por intermédio do coeficiente de variação, utilizando-se a equação $SD\mu = CV\% \mu 100^{-1}$, onde: μ = Média; CV% = coeficiente de variação e $SD\mu$ = desvio padrão. Quando não havia o valor do desvio padrão para o cálculo, foi utilizado o erro padrão ($SE\mu$) e o número de repetições (n) para calcular o desvio padrão utilizando-se a equação $SD\mu = SE\mu \sqrt{n}$, onde: $SE\mu$ = erro padrão; $SD\mu$ = desvio padrão e n = número de repetições. As médias e os desvios padrões que representam o grupo experimental foram organizados em colunas nas planilhas do Microsoft Excel®.

A meta-análise foi realizada com o software R v4.2.2 (R CORTE TEAM, 2022), com o auxílio do pacote meta. Admitindo-se a existência de diferenças metodológicas entre os estudos e a presença de escalas distintas entre eles, foram adotados nas análises, respectivamente, um modelo de efeitos randômicos e a diferença de médias padronizada (DMP) (standardized mean difference – SMD) (g de Hedges), utilizada como estimativa do tamanho do efeito (HIGGINS et al., 2022).

Nos casos em que os autores não apresentaram as exportações de N, P e K por hectare (ha), as exportações de nutrientes por ha foram calculadas multiplicando-se as concentrações de nutrientes nos grãos pelas produtividades de grãos. As quantidades de P e K apresentadas em alguns estudos na forma de P_2O_5 e K_2O foram convertidas em equivalentes de P e K. As unidades foram padronizadas em quilogramas por megagramas ($kg\ Mg^{-1}$) para concentração de nutrientes nos grãos e quilogramas por hectare ($kg\ ha^{-1}$) para exportação de nutrientes por área plantada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Overview

A pesquisa nas diferentes bases de dados resultou em um total de 2365 estudos. Após a realização dos processos de triagem foram selecionados para a realização da revisão sistemática um total de 11 estudos. Desses estudos, sete foram classificados especificamente para a meta-análise para exportação de nitrogênio e nove para fósforo e potássio.

Um total de 642 observações de exportações dos nutrientes N, P e K foram coletadas dos estudos selecionados para revisão sistemática. Dividindo esses dados pelos continentes, 68,1% (438 observações) foram obtidos no continente americano, 1,9% (12) no continente africano e 26,2% (168) no continente asiático (Fig. 1). Aproximadamente 16,5% desses dados publicados estão sem data de obtenção dos resultados; 34,3% obtidos entre 2012 e 2022 e 49,2% obtidos na década de 1990 e 2000.



Figura 1 – Localização dos estudos utilizados na revisão sistemática e meta-análise sobre exportações dos nutrientes N, P e K e produtividade de grãos.

3.2 Exportação de nutrientes por unidade de grãos

Considerando o conjunto de dados totais, a exportação média de N foi de 31,6 kg Mg⁻¹ e variou de 26,3 a 39,4 kg Mg⁻¹. A exportação média de P foi de 3,47 kg Mg⁻¹, variando de 1,9 a 4,7 kg Mg⁻¹, enquanto a exportação média de K foi de 15,6 kg Mg⁻¹, variando de 13,4 a 18,7 kg Mg⁻¹ (Tabela 1).

Tabela 1 - Resumo das informações dos estudos utilizados na revisão sistemática, considerando-se local, ano de cultivo, fatores experimentais avaliados em cada estudo, quantidade exportada de nutrientes (N, P e K) nos grãos de feijão.

Autor (ano publicação)	Local	Anos do estudo	fator experimental avaliado	Teor médio dos nutrientes (kg Mg ⁻¹)		
				N	P	K
Araújo e Ferreira (2012)	Seropédica, Brasil	2003	Genótipos	39,4	4,5	18,7
Bulyaba et al. (2020)	Colorado, Iowa e Michigan - Estados Unidos da América / Masaka - Uganda	2017/2018	Cultivares	NI	4,7	13,7
Chavoshi et al. (2018)	Arak, Iran	2015	Irrigação	31,0	2,9	13,4
Fageria (2014)	Brasil	Não indicada	Épocas de avaliação	28,9	4,1	15,3
Fageria et al. (2007)	Capivara, Brasil	1999/2000/2001	Anos diferentes	32,0	3,8	16,8
Fageria et al. (2010)	Capivara, Brasil	Não indicada	Doses calcário x ferro	32,3	3,7	13,9
Kumar et al. (2020)	Jharnapani, India	2013/2014	Adubação	33,7	2,0	15,9
Perez et al. (2013)	Botucatu, Brasil	2007/2008	Sistemas de plantio x cobertura de N	32,	3,1	16,0
Silva e Moreira (2022)	Lavras, Brasil	2018	Cultivares	26,3	3,4	15,0
Soratto et al. (2013)	Botucatu, Brasil	sem data	Cultivares x adubação	28,4	4,5	16,8
Média				31,6	3,7	15,6

NI- Não informado.

Grande parte dos estudos selecionados foram realizados no Brasil, onde há manuais de recomendações de adubação. A versão mais recente é a do Boletim 100, em que são citadas que para produção de uma tonelada de grãos de feijão são necessários 35, 5 e 16 kg Mg⁻¹ de N, P e K, respectivamente (WUTKE et al., 2022). No caso dos nutrientes N e P, os valores são numericamente um pouco superiores à média encontrada nos estudos brasileiros que foram de 31,8 e 3,3 kg Mg⁻¹ para N e P, respectivamente. No caso do K, os valores foram similares, pois na média a exportação do nutriente foi 16,1 kg para cada tonelada de grão produzida.

A média global de toda meta-análise para a quantidade de N exportada nos grãos foi de 31,8 kg Mg⁻¹ (Fig. 2). O teste do I² demonstrou uma baixa inconsistência entre os estudos (< 40%), sugerindo assim ausência de viés de publicação. Pereira e Galvão (2014) sugerem que

um I^2 superior a 50% indica heterogeneidade substancial e, acima de 75%, heterogeneidade considerável. Assim, quanto maior a heterogeneidade, maior o questionamento sobre a validade de combinar resultados.

A média global para as quantidades de P e K exportadas nos grãos foram de 3,31 e 17,1 kg Mg^{-1} , respectivamente (Figs. 3 e 4). Assim como observado para o N, as médias dos estudos selecionados para P e K apresentaram altas heterogeneidades, não apresentando viés de publicação.

Quando se compara as exportações médias de P com as obtidas nos estudos de Kumar et al. (2020), que foram realizados na Índia, as quantidades exportadas de P foram de 39,4% inferiores aos demais estudos considerados. O tipo de crescimento da cultivar estudada por Kumar et al. (2020) é a tipo IV, sendo a possível causa desse alto contraste. Silva e Moreira (2022) cultivaram cultivares tipo I, II e III em solo com alta fertilidade e observaram a exportação média de todas as cultivares de 3,48 kg de P por tonelada de grãos, mas sem diferenças nas quantidades exportadas nos grãos pelos diferentes tipos. Há relatos na literatura de que há oscilação na exportação de P pode ser devida ao tipo de fertilizante, profundidade de aplicação e tipo de solo (CHANDRASEKARAN, 2022; EL MAZLOUZI et al., 2022; NKEBIWE et al., 2016; WANG et al., 2006).

Figura 2– Gráfico de floresta (Forest plot) para quantidade de nitrogênio por tonelada de grãos ($kg Mg^{-1}$).

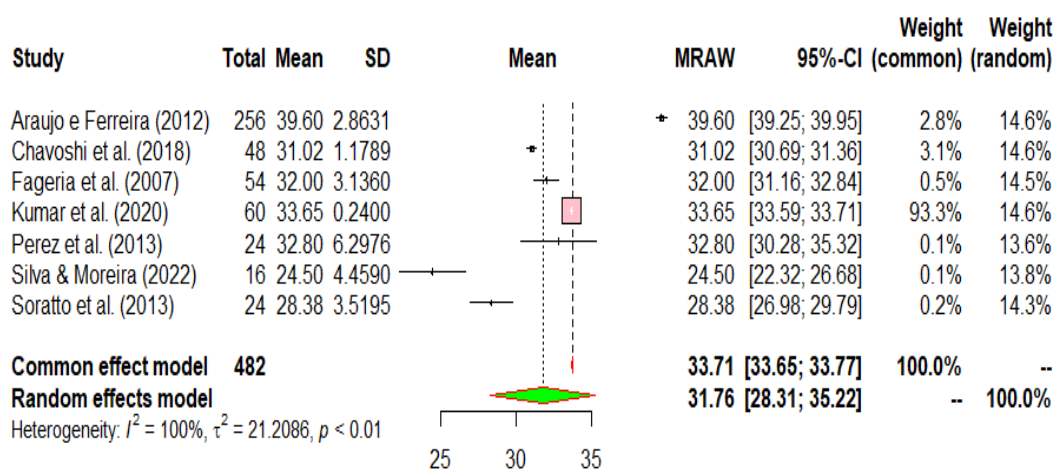


Figura 3 – Gráfico de floresta (Forest plot) para teor de fósforo nos grãos.

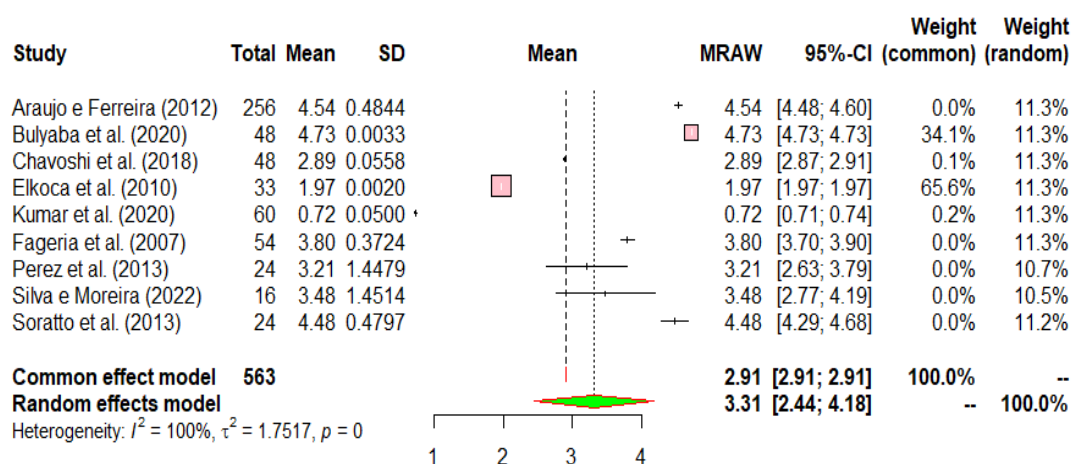
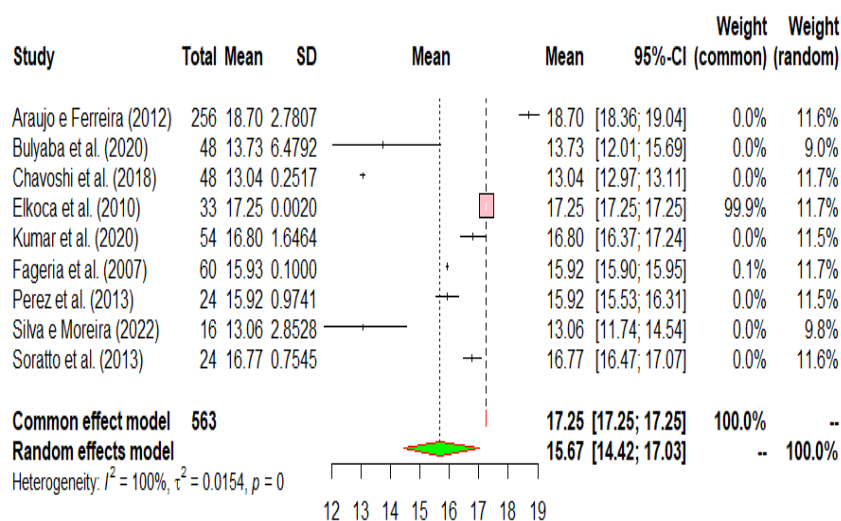


Figura 4 – Gráfico de floresta (Forest plot) para teor de potássio nos grãos.



A produtividade média global foi de 2429 kg ha⁻¹, bem acima das produtividades médias do Brasil de cerca de 1000 kg ha⁻¹ (CONAB, 2023), mas com exportações médias de 77,6, 8,3 e 36,8 kg ha⁻¹ de N, P e K, respectivamente (Tabela 2).

As médias aqui levantadas estão coerentes aos principais guias de adubação das regiões produtoras de feijão. No boletim 100, guia para adubação mais recente no Brasil, a recomendação de adubação para a produtividade aqui encontrada seria de 84, 5,4 e 31,9 kg ha⁻¹ de N, P e K, respectivamente (WUTBE et al., 2022).

Tabela 2 - Resumo das informações dos estudos utilizados na revisão sistemática, considerando-se local, ano de cultivo, fatores experimentais avaliados em cada estudo e quantidade exportada de nutrientes (N, P e K) por hectare.

Autor (ano publicação)	Local	Anos do estudo	Fator experimental avaliado	Grain Yield (kg ha ⁻¹)	Exportação (kg ha ⁻¹)		
					N	P	K
Araujo e Ferreira. (2012)	Seropédica, RJ, Brasil	2003	Genótipos	2050,0	78,7	9,1	37,4
Bulyaba et al. (2020)	Colorado, Iowa e Michigan - Estados Unidos da America / Masaka - Uganda	2017/2018	Cultivares	2632,2	-	9,7	28,1
Chavoshi et al. (2018)	Arak, Iran	2015	Irrigação	1998,0	63,6	5,9	27,5
Fageria et al. (2007)	Capivara, Brasil	1999/2000/2001	Anos diferentes	3062,5	98,0	11,6	51,4
Fageria et al. (2010)	Capivara, Brasil	Não indicada	Doses calcário x ferro	2594,5	83,8	9,6	36,1
Kumar et al. (2020)	Jharnapani, India	2013/2014	Adubação	1444,0	105,6	6,2	49,9
Perez et al. (2013)	Botucatu, Brasil	2007/2008	Sistemas de plantio x cobertura de N	2156,5	70,7	6,8	34,6
Silva e Moreira. (2022)	Lavras, Brasil	2018	Cultivares	2779,7	73,1	9,4	41,7
Soratto et al. (2013)	Botucatu, Brasil	sem data	cultivares x adubação	2836,3	80,5	12,7	47,5

NI- Não informado.

3.2.1 Exportação de nutrientes por unidade de grãos em função ao tipo de crescimento

Para a análise em função ao tipo de crescimento foi incluído o estudo do artigo 1 (dados ainda não publicados) e excluído o estudo de Araújo e Silva (2012), por não ser possível identificar a exportação de cada genótipo presente no estudo. Foram consideradas 362 amostras, sendo 38 do tipo I, 44 tipo II, 160 tipo III e 120 tipo IV (Tabela 3).

As cultivares tipo I avaliadas foram Montcalm, TAA Gol, BRSFC104 e IAC Alvorada, totalizando-se 38 amostras, que em média exportaram 28,6, 4,5 e 13,9 de N, P e K por tonelada de grãos produzidos. A quantidade de N exportada nos grãos por cultivares tipo II foi de 34,6 kg Mg⁻¹, e as quantidades exportadas de P e K foram respectivamente, 4,3 e 14 kg Mg⁻¹. As cultivares tipo II estudadas foram Taurus, Eclipse, BRS Valente, IPR Tuiuiu, BRS Estilo, BRSMG Marte e BRSMG Uai. No caso das cultivares tipo III, 160 amostras foram geradas com as cultivares Pérola, TAA Dama e BRS Requite. As quantidades de N exportadas por toneladas de grãos variaram entre 26,3 e 32,8. Por sua vez, as quantidades de P e K exportadas por toneladas de grãos variaram de 3,1 e 4,7 para o P e de 12,6 a 17,1 para o K.

Tabela 3 - Resumo das informações dos estudos utilizados na revisão sistemática, considerando-se cultivar ou getotipo, tipo de crescimento e quantidade de nutriente (N, P e K) por tonelada de grãos de feijão (kg Mg⁻¹).

Autor (ano publicação)	Cultivar / Genotipo	Tipo de crescimento	Prod	N	P	K
siBulyaba et al. (2020)	Montcalm	I	1989,0	NI	5,1	12,6
Bulyaba et al. (2020)	Taurus	II	2883,0	NI	4,9	14,1
Bulyaba et al. (2020)	Eclipse	II	3066,0	NI	4,2	12,6
Fageria et al. (2007)	Perola	III	3062,0	32,0	3,8	16,8
Fageria et al. (2010)	Perola	III	2594,5	32,3	3,7	13,9
Fageria et al. (2013)	BRS Valente	II	NI	42,4	1,5	13,3
Kumar et al. (2020)	Anupama	IV	1444,0	33,7	2,0	15,9
Perez et al. (2013)	Perola	III	NI	32,8	3,1	16,0
Silva e Moreira (2022)	BRS FC104	I	3016,0	22,8	4,0	13,6
Silva e Moreira (2022)	TAA Gol	I	2549,0	21,1	3,1	12,9
Silva e Moreira (2022)	IPR Tuiuiu	II	2806,0	27,5	3,4	13,5
Silva e Moreira (2022)	TAA Dama	III	2748,0	26,3	3,4	17,1
O próprio autor (não publicado)	TAA Dama	III	3274,8	30,4	4,2	12,9
O próprio autor (não publicado)	BRS Estilo	II	2031,4	32,5	4,8	14,2
O próprio autor (não publicado)	BRS FC 104	I	2134,3	36,9	5,2	14,2
O próprio autor (não publicado)	TAA Gol	I	2166,8	33,5	4,6	13,3
O próprio autor (não publicado)	BRSMG Marte	II	2974,4	36,9	5,4	15,1
O próprio autor (não publicado)	Pérola	III	2751,4	31,5	4,5	13,6
O próprio autor (não publicado)	IPR Tuiuiu	II	3149,7	33,8	4,8	14,1
O próprio autor (não publicado)	BRSMG Uai	II	2735,3	34,6	5,5	15,2
Soratto et al. (2013)	Perola	III	2974,3	27,8	4,3	16,7
Soratto et al. (2013)	IAC Alvorada	I	3114,5	28,9	4,7	16,8
Média			2673,2	31,5	4,1	14,5

A quantidade de N exportada apresentou grande variação dentro do tipo de crescimento I (Fig. 5), com intervalo de interquartil de 10,7, que foram superiores aos das cultivares tipo II (3,54) e tipo III (3,44). Para P, intervalo de interquartil para tipo I, II e III foram de 0,83, 0,66 e 0,63, respectivamente. O intervalo de interquartil para a exportação de K, também apresentaram heterogeneidade, principalmente no tipo III (2,93). Essa avaliação não foi realizada para o hábito de crescimento IV, uma vez há somente um estudo com cultivares desse tipo. Essa avaliação do interquartil é uma medida de dispersão semelhante ao desvio padrão (NUZZO, 2016).

Embora os diferentes tipos (I, II e III) apresentem diferenças no ciclo, na morfologia da planta, altura e outros aspectos (Singh et al., 1991; De Oliveira et al., 2018), eles apresentam exportações semelhantes em termos de quantidades de nutrientes exportadas por tonelada de grão produzida. No entanto, algumas cultivares do tipo I mais precoces podem ter maior

acumulo inicial de nutrientes como N e K nas fases iniciais de desenvolvimento, conforme observado por Silva e Moreira (2022), quando compararam a cultivar TAA Gol com cultivares tipos II e III. De modo geral, os resultados aqui obtidos indicam a necessidade de estudos, com maior diversificação de cultivares e solos com diferentes teores de nutrientes. Seria oportuno estudar também a época de aplicação da adubação cobertura em cultivares mais precoces (tipo I), comparado àquelas mais tardias, como as tipo III. É importante salientar a necessidades de maior número de estudos para identificar também o consumo de luxo de nutrientes. Desta forma, poderiam ser efetuados estudos de marcha de absorção de diferentes tipos de cultivares em solos com teores altos e baixos de nutrientes. Para melhor visualização dos resultados avaliados por cultivar foram elaborados gráficos do tipo radar (fig. 6).

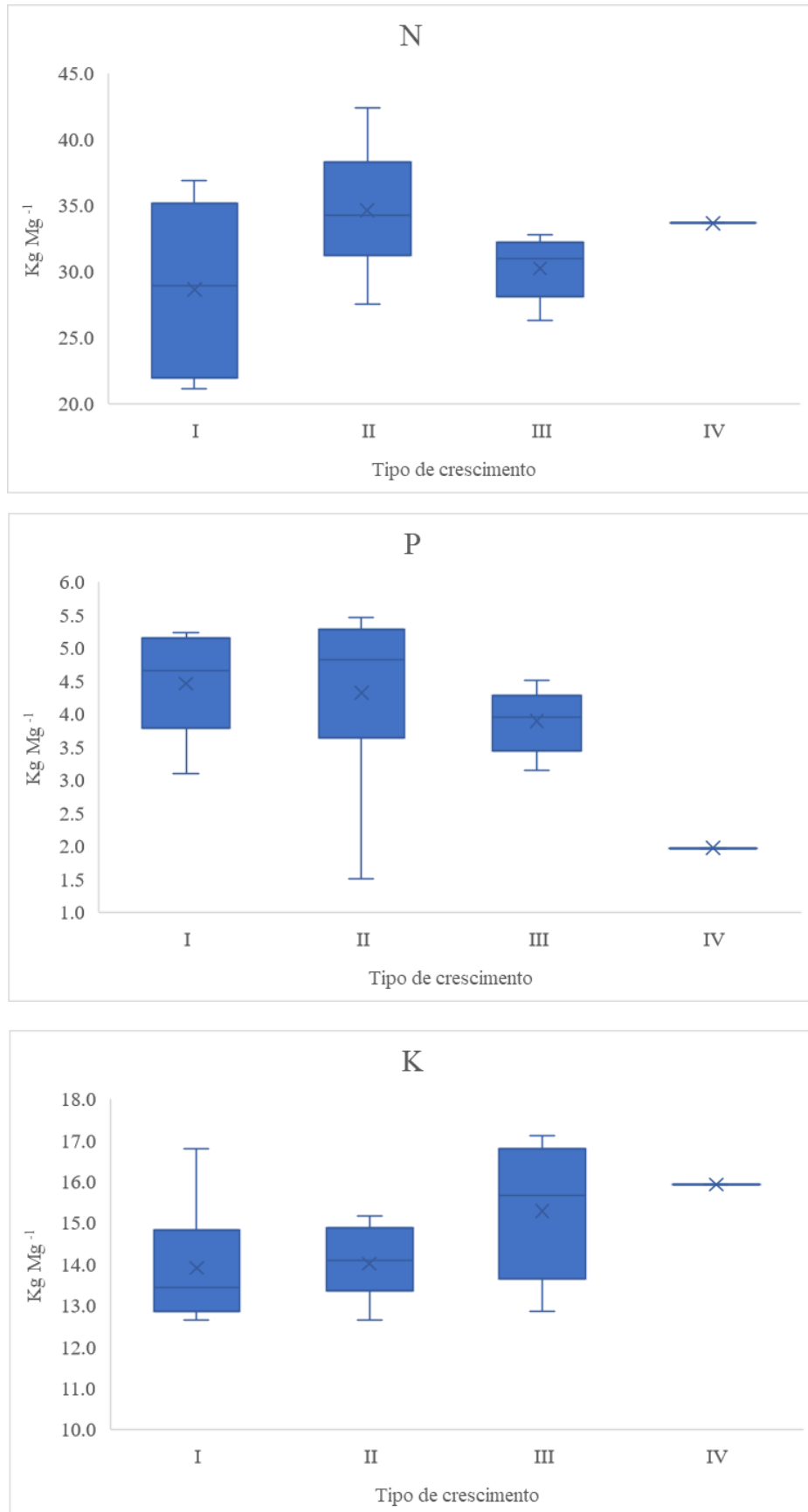


Figura 5. Quantidades de N (a), P (b) e K (c) exportadas por tonelada de grãos de feijão de diferentes tipos (I, II, III e IV).

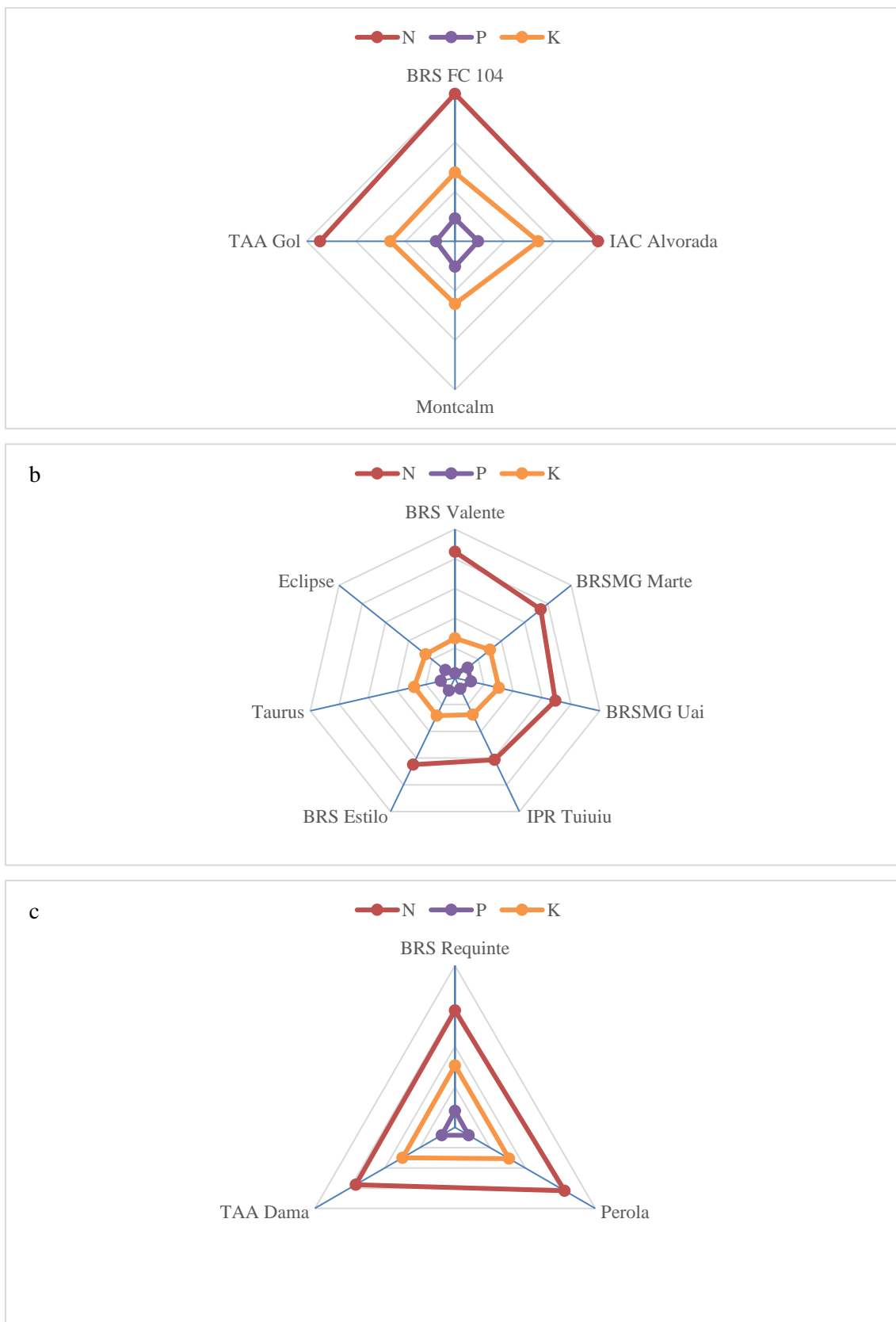


Figura 6. Quantidades de N (a), P (b) e K (c) exportadas por tonelada de grãos em função de cultivares de feijão de diferentes tipos I (a), II (b) e III (c).

4 CONCLUSÕES

- 1 - Dados obtidos de estudos publicados entre 2007 e 2022 indicam que as quantidades de N, P e K exportadas por tonelada de grãos de feijão foram de 32,7, 3,5 e 15.4 kg Mg⁻¹ respectivamente.
- 2 – Exportação média de N, P e K foi 77,6, 8,3 e 36.8 kg ha⁻¹, respectivamente, para uma produtividade média 2673,2 kg ha⁻¹, de grãos.
- 3 – As cultivares tipo I exportam menores quantidades de N, P e K que os demais tipos de crescimento, exceto para fosforo que cultivares do tipo IV exportam menos.
- 4 - Os resultados encontrados destacam a necessidade de mais estudos para a cultura.

5 REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A. P.; TEIXEIRA, M. G. Variabilidade dos índices de colheita de nutrientes em genótipos de feijoeiro e sua relação com a produção de grãos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 137-146, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100015>
- ARAÚJO, W. A.; SANTANA, R. S.; MAUAD, M.; da SILVA, R. S. Dry matter accumulation and nutrient uptake in determinate and indeterminate soybeans. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, n. 4, p. 508-522, 2021.
- BULYABA, WINHAM, D. M.; LENSSSEN, A. W.; MOORE, K. J.; KELLY, J. D.; BRICK, M. A.; ERIGHT, E. M; OGG, J. B.. Genotype by location effects on yield and seed nutrient composition of common bean. **Agronomy**, v. 10, n. 3, p. 347, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030347>
- CHANDRASEKARAN, M.. Arbuscular mycorrhizal fungi mediated enhanced biomass, root morphological traits and nutrient uptake under drought stress: A meta-analysis. **Journal of Fungi**, v. 8, n. 7, p. 660, 2022.
- CHAVOSHI, S.; NOURMOHAMADI, G.; MADANI, H.; HEIDARI, H.;ABAD, S.; FAZEL, M. A Role of potassium solublizing bacteria on nutrients uptake in red bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Goli) under water deficit condition. **Legume Research-An International Journal**, v. 41, n. 3, p. 416-421, 2018.
- EL MAZLOUZI, M.; MOREL, C.; ROBERT, T.; CHESSERON, C.; SALON, C.; CORNU, J. Y.; MOLLIER, A. The Dynamics of Phosphorus Uptake and Remobilization during the Grain Development Period in Durum Wheat Plants. **Plants**, v. 11, n. 8, p. 1006, 2022.
- FAGERIA, N. K. Growth, nutrient uptake, and use efficiency in dry bean in tropical upland soil. **Journal of Plant Nutrition**, v. 37, n. 13, p. 2085-2093, 2014. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.911890>
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; ZOBEL, R. W. Yield, nutrient uptake, and soil chemical properties as influenced by liming and boron application in common bean in a no-tillage system. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 38, n. 11-12, p. 1637-1653, 2007. <https://doi.org/10.1080/00103620701380413>

FAGERIA, N. K.; DOS SANTOS, A. B.; MOREIRA, A. Yield, nutrient uptake, and changes in soil chemical properties as influenced by liming and iron application in common bean in a no-tillage system. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 41, n. 14, p. 1740-1749, 2010. <https://doi.org/10.1080/00103624.2010.489137>

FAGERIA, N. K.; CARVALHO, M. C. S.; KNUPP, A. M.; MORAES, M. F. Nutrient uptake and use efficiency of dry bean in tropical lowland soil. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 44, n. 19, p. 2852-2859, 2013. <https://doi.org/10.1080/00103624.2013.823982>

HIGGINS, J. P.; THOMAS, J.; CHANDLER, J.; CUMPSTON, M.; LI, T.; PAGE, M. J.; WELCH, V. A. Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions version 6.3. Cochrane, 2022. Disponível em: <https://training.cochrane.org/handbook/current>

LINQUIST, B. A.; LIU, L.; VAN KESSEL, C.; VAN GROENIGEN, K. J.. Enhanced efficiency nitrogen fertilizers for rice systems: Meta-analysis of yield and nitrogen uptake. **Field Crops Research**, v. 154, p. 246-254, 2013.

KUMAR, R., DEKA, B. C.; KUMAWAT, N.; & THIRUGNANAVEL, A. Effect of integrated nutrition on productivity, profitability and quality of French bean (*Phaseolus vulgaris*). **Indian J. Agric. Sci**, v. 90, n. 2, p. 431-435, 2020.

MOGOLLÓN, J.M.; BEUSEN, A.H.W.; VAN GRINSVEN, H.J.M; WESTHOEK, H.; BOUWMAN, A.F. Future agricultural phosphorus demand according to the shared socioeconomic pathways. **Global Environmental Change**, v.50, p.149-163, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.03.007>.

NORDHAGEN, S.; LAMBERTINI, E.; DEWAAL, C. S.; MCCLAFFERTY, B.; NEUFELD, L. M. Integrating nutrition and food safety in food systems policy and programming. **Global Food Security**, v. 32, p. 100593, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100593>.

NKEBIWE, P. M.; WEINMANN, M.; BAR-TAL, A.; MÜLLER, T. Fertilizer placement to improve crop nutrient acquisition and yield: A review and meta-analysis. **Field crops research**, v. 196, p. 389-401, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.018>

NUZZO, R. L. The box plots alternative for visualizing quantitative data. **PM&R**, v. 8, n. 3, p. 268-272, 2016.

DE OLIVEIRA, L. F. C. et al. Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos. 2018.

PASTOR-BUEIS, R.; JIMENEZ-GOMEZ, A.; BARQUERO, M.; MATEOS, P. F.; GONZALEZ-ANDRES, F. Yield response of common bean to co-inoculation with *Rhizobium* and *Pseudomonas* endophytes and microscopic evidence of different colonised spaces inside the nodule. **European Journal of Agronomy**, v. 122, p. 126187, 2021.

PEREIRA, M. G.; GALVÃO, T. F. Heterogeneidade e viés de publicação em revisões sistemáticas. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 23, p. 775-778, 2014.

PEREZ, A. A. G.; SORATTO, R. P.; MANZATTO, N. P.; SOUZA, E. D. F. C. D. Extração e exportação de nutrientes pelo feijoeiro adubado com nitrogênio, em diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1276-1287, 2013.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>, 2013.

SALVAGIOTTI, F.; CASSMAN, K. G.; SPECHT, J. E.; WALTERS, D. T.; WEISS, A.,; DOBERMANN, A. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. **Field Crops Research**, v. 108, n. 1, p. 1-13, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.03.001>

SILVA, C. G. M.; MOREIRA, S. G. Nutritional demand and nutrient export by modern cultivars of common bean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 57, 2022. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.02248>

SINGH, S. P.; GEPTS, P.; DEBOUCK, D. G. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). **Economic Botany**, p. 379-396, 1991.

SMITH, M. R.; RAO, I. M., Common bean In: SADRAS, V.; CALDERINI, D. (Ed.). **Crop physiology case histories for major crops**. Academic press, 2020.

SORATTO, R.P.; FERNANDES, A. M.; SANTOS, L. A. D.; JOB, A. L. G. Nutrient extraction and exportation by common bean cultivars under different fertilization levels: I-macronutrients. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1027-1042, 2013.

TRINDADE, R. dos S.; ARAÚJO, A. P. Variability of root traits in common bean genotypes at different levels of phosphorus supply and ontogenetic stages. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1170-1180, 2014.

WANG, H.; INUKAI, Y.; YAMAUCHI, A. Root development and nutrient uptake. **Critical reviews in plant sciences**, v. 25, n. 3, p. 279-301, 2006.

WUTKE ,E. B.; CHIORATO, A. F.; ESTEVES, J. A. F.; CARBONELI, S. A. M.; AMBROSANO, E. J.; LEMOS, A. B.; SORATTO, R. P.; ARF, O.; CANTARELLA, H. Feijão. In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR., D.; BOARETTO, R. M.; VAN RAIJ, B. **Boletim 100: Recomendações De Adubação E Calagem Para O Estado De São Paulo**, 2022.

ZILIO, M.; SOUZA, C. A.; COELHO, C. M. M. Diversidade fenotípica de nutrientes e anti-nutriente em grãos de feijão cultivados em diferentes locais. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 12, n. 4, p. 526-534, 2017.

APENDICE 1
Material Suplementar

Figura S1. Accumulation of macro and micronutrients by common bean in different compartments (leaf, stem, pods and grains) of the cultivar TAA Dama.

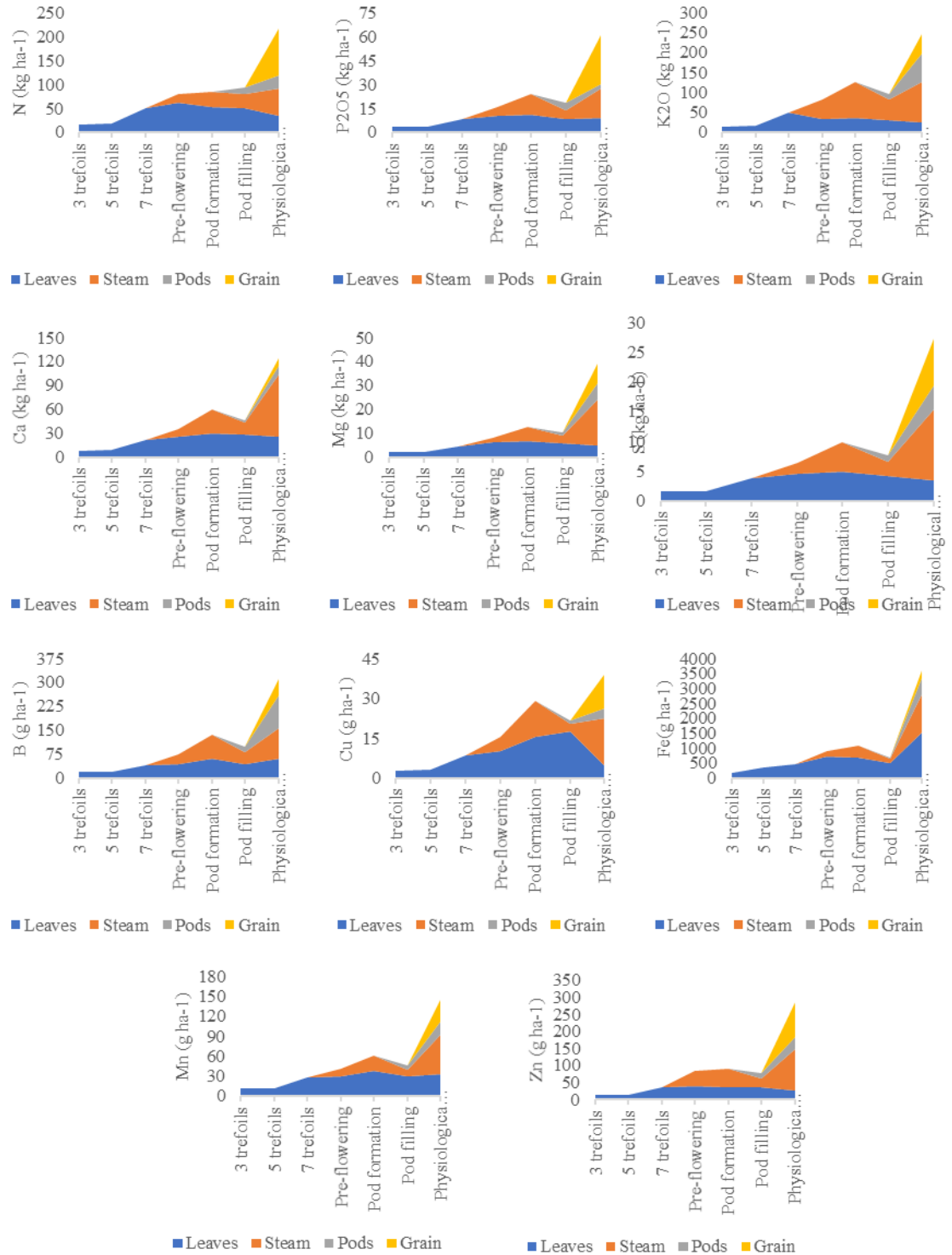


Figure S2. Accumulation of macro and micronutrients by common bean in different compartments (leaf, stem, pods and grains) of the cultivar BRS Estilo.

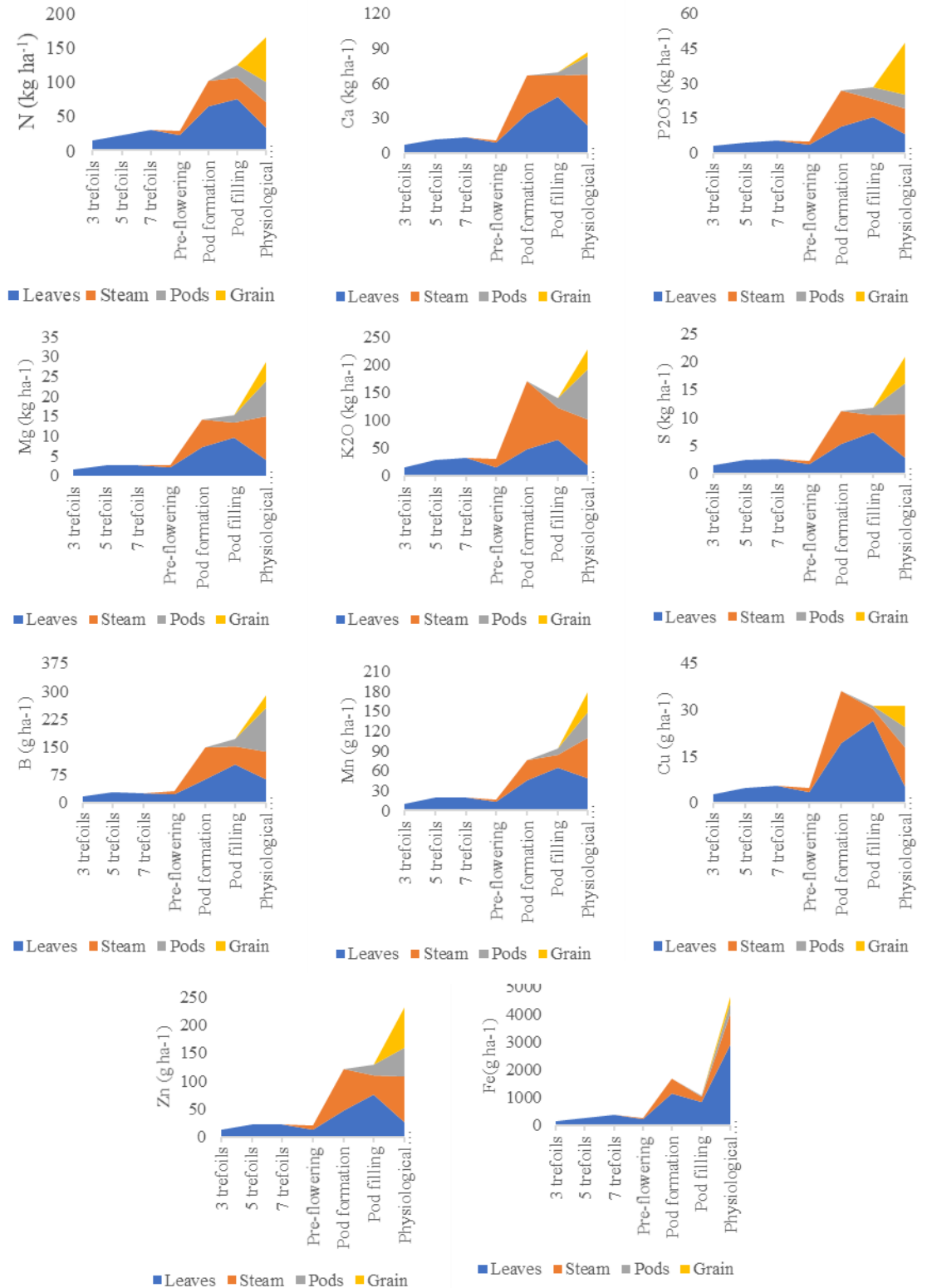


Figure S3. Accumulation of macro and micronutrients by common bean in different compartments (leaf, stem, pods and grains) of the cultivar BRS FC104.

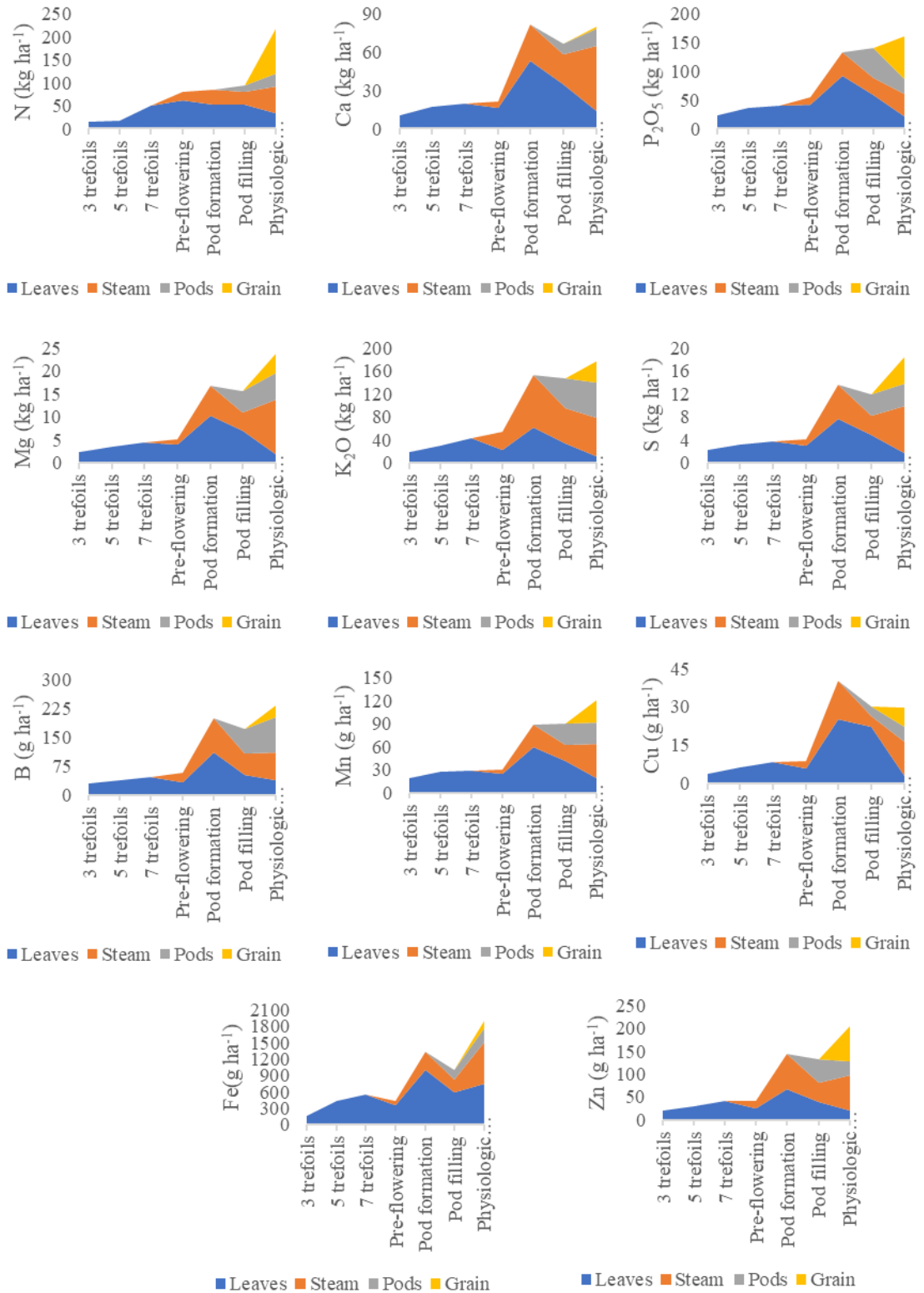


Figure S4. Accumulation of macro and micronutrients by common bean in different compartments (leaf, stem, pods and grains) of the cultivar TAA Gol.

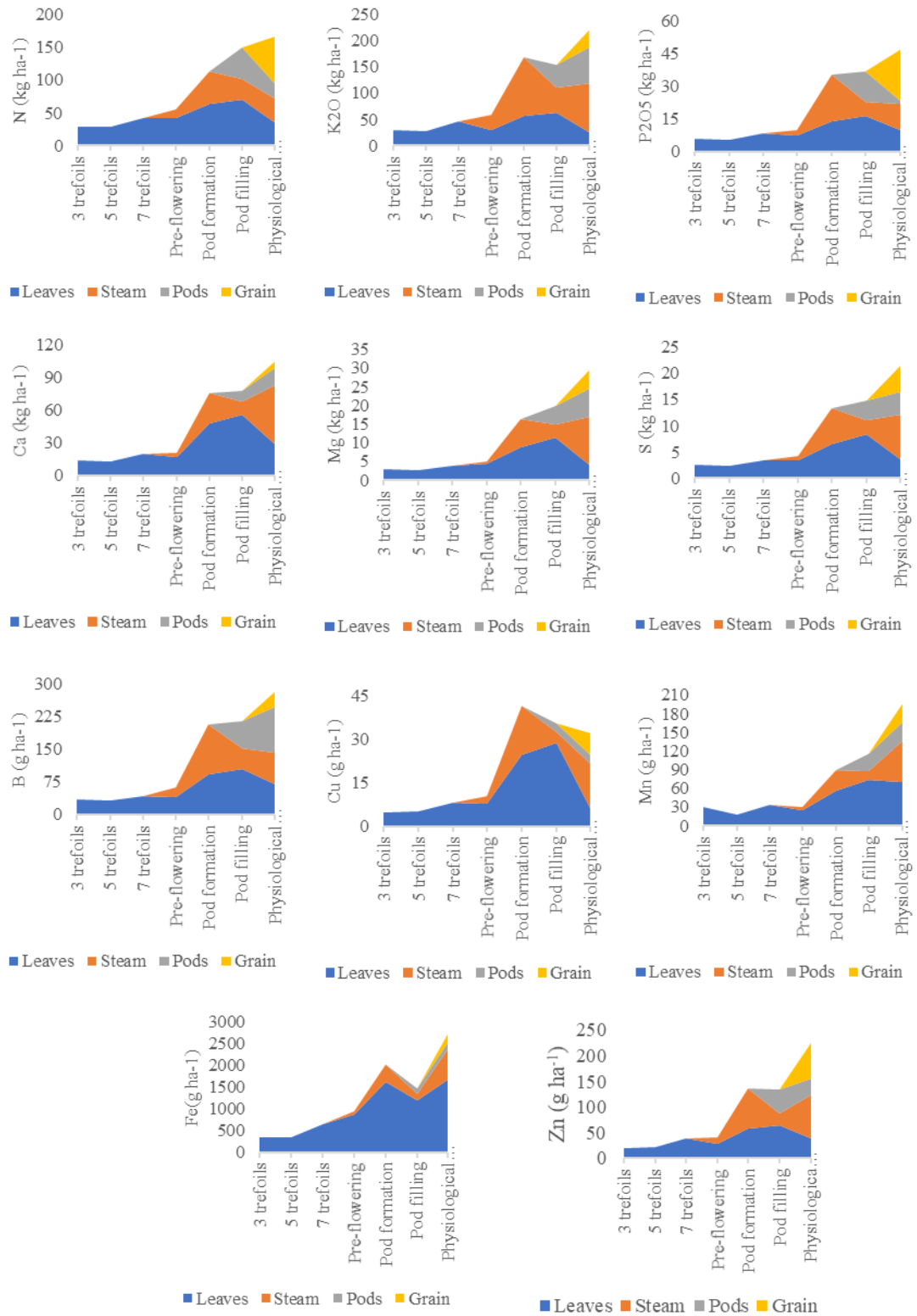


Figure S5. Accumulation of macro and micronutrients by common bean in different compartments (leaf, stem, pods and grains) of the cultivar BRSMG Marte.

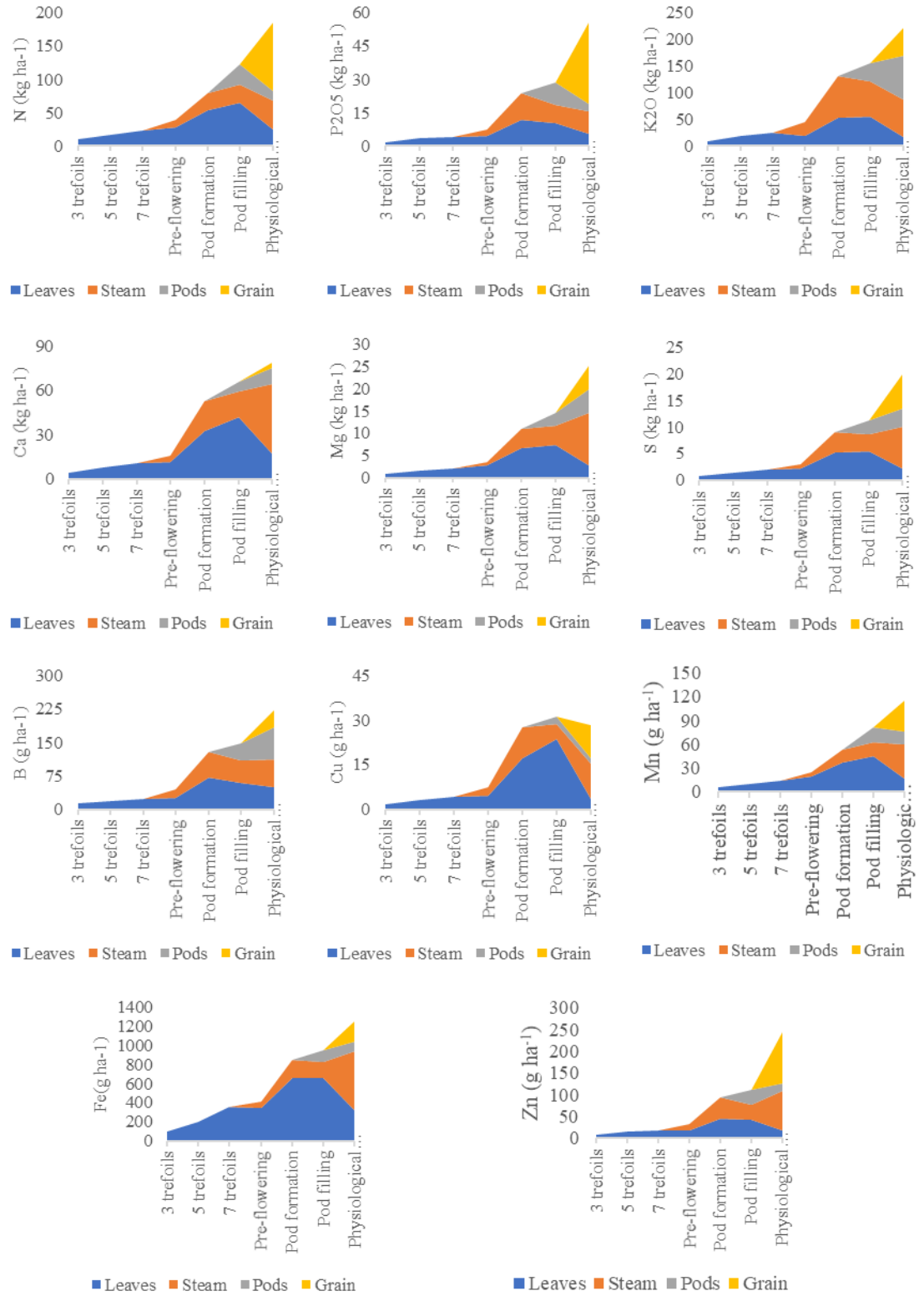


Figure S6. Accumulation of macro and micronutrients by common bean in different compartments (leaf, stem, pods and grains) of the cultivar Pérola.

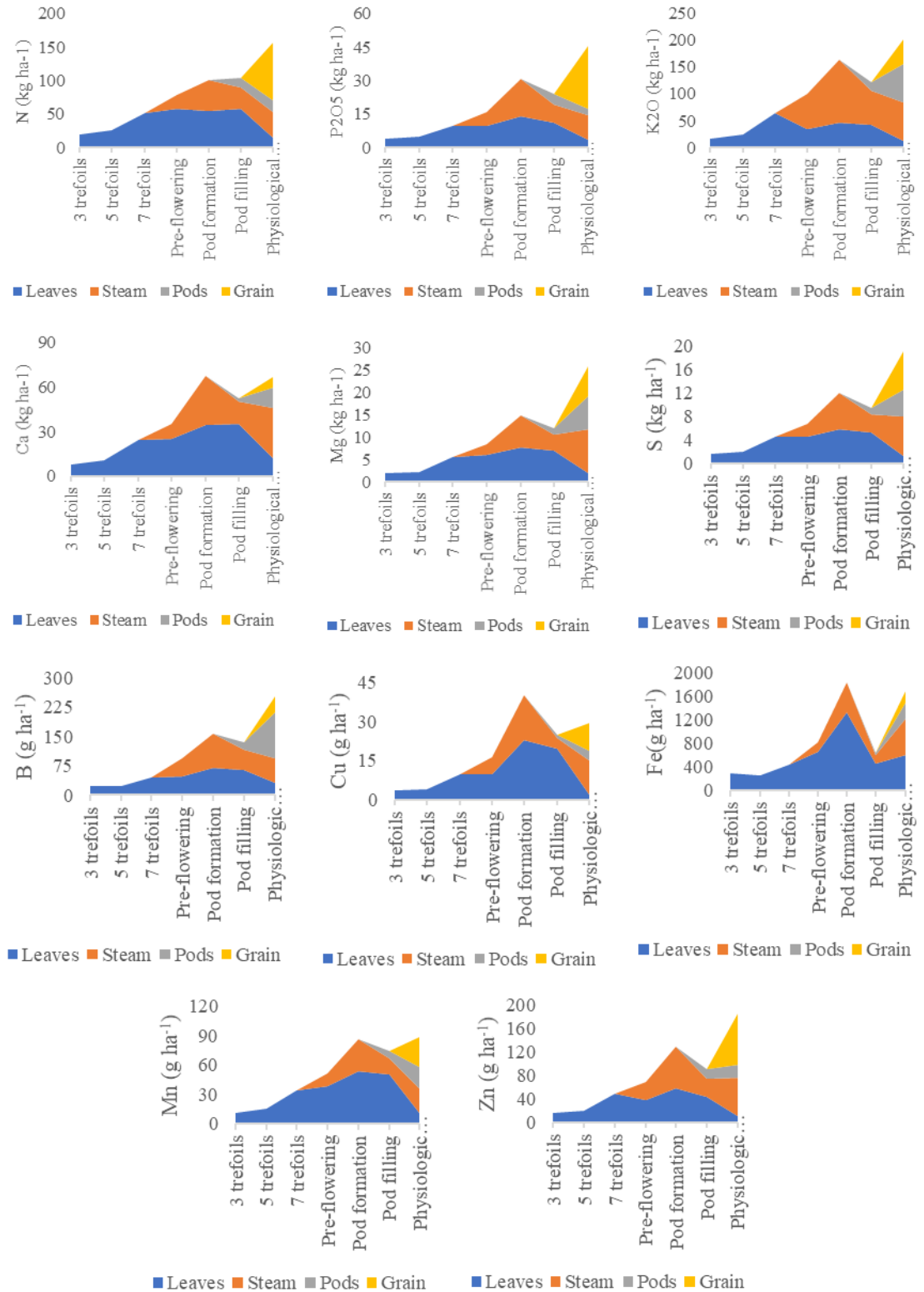


Figure S7. Accumulation of macro and micronutrients by common bean in different compartments (leaf, stem, pods and grains) of the cultivar IPR Tuiuí.

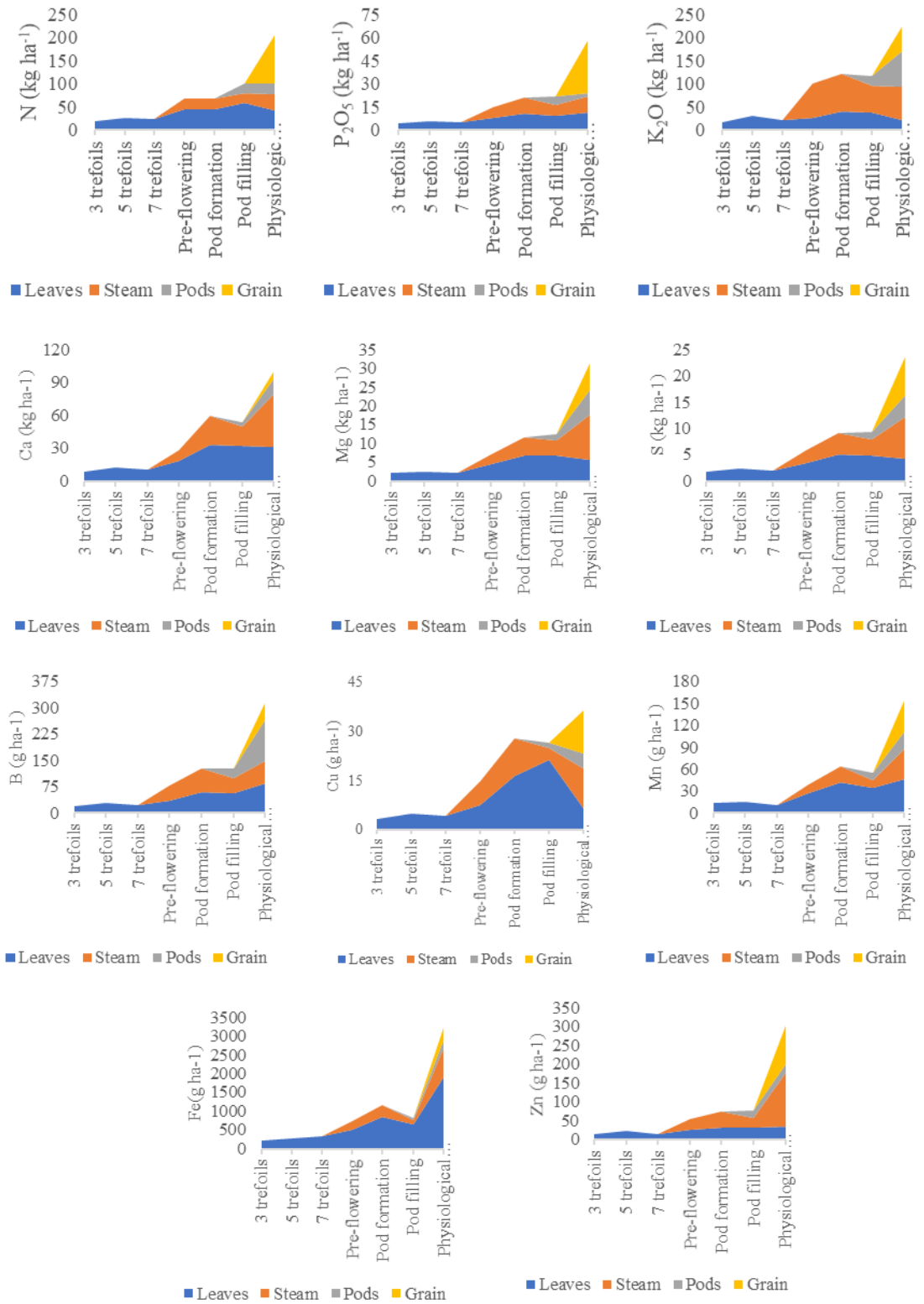


Figure S.8. Accumulation of macro and micronutrients by common bean in different compartments (leaf, stem, pods and grains) of the cultivar BRSMG Uai.

