

GUTEMBERG PORTO DE ARAUJO

**EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES POR GRÃOS
DE CULTIVARES DE SOJA EM LAVOURAS DE ELEVADA PRODUTIVIDADE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Júlio César Lima Neves

Coorientador: Reinaldo Bertola Cantarutti

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

A663e
2024

Araujo, Gutemberg Porto de, 1991-
Eficiência de utilização e exportação de nutrientes por grãos
de cultivares de soja em lavouras de elevada produtividade /
Gutemberg Porto de Araujo. – Viçosa, MG, 2024.
1 dissertação eletrônica (46 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Júlio César Lima Neves.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Agronomia, 2024.
Referências bibliográficas: f. 45-46.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.581>
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Soja - Nutrição. 2. Soja - Rendimento. 3. Soja -
Variedades. I. Neves, Júlio César Lima, 1955-. II. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Agronomia. Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia. III. Título.

CDD 22. ed. 633.34


GUTENBERG PORTO DE ARAUJO

**EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES POR GRÃOS
DE CULTIVARES DE SOJA EM LAVOURAS DE ELEVADA PRODUTIVIDADE**


Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de junho 2024.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 **GUTENBERG PORTO DE ARAUJO**
Data: 13/09/2024 12:41:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Gutemberg Porto de Araujo
Autor

Documento assinado digitalmente
 **JULIO CESAR LIMA NEVES**
Data: 13/09/2024 12:53:25-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Júlio César Lima Neves
Orientador

Aos meus pais, meus irmãos e a minha família, pelo apoio e incentivo.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde e equilíbrio, que foram fundamentais na conclusão desta etapa da minha vida. A Eles eu devo todo louvor, toda honra e toda glória.

Ao Professor Júlio Cesar Lima Neves, pela orientação e amizade, que gentilmente colaborou para o meu aprendizado com o software FERTCALC® - Soja e outros e que sem ele não seria possível a conclusão da minha tese. A este os meus sinceros agradecimentos.

À Solos e Nutrição de Plantas Consultoria (SNP) e o Rodrigo de Oliveira Lima, pela disponibilização dos dados a serem trabalhados na minha tese. A estes meus sinceros agradecimentos.

Ao Professor Reinaldo B. Cantarutti, pela orientação, incentivo e amizade.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo o apoio financeiro na concessão do mestrado em Fitotecnia e todo incentivo direto e indiretamente.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), especialmente ao Departamentos de Pós Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de realizar o curso.

À minha amada mãe, Iracy Porto de Araujo, companheira de todas as horas, que me agraciou com seu amor, apoio, conselho, sabedoria, educação. Pois sem ela não teria tornado o homem que sou hoje, meu eterno agradecimento.

Ao meu pai, Leosvaldo Araujo de Brito pelo grande apoio, por nunca ter medido esforço para me dar a melhor educação, pelos incentivos profissionais, pelo amor, força e amizade.

Aos companheiros da Pós Graduação, Caio, Guilherme, Mikaela, Jeane, Magda, Hugo, Betânia, Heitor e Samuel pela ótima convivência e pelas contribuições no desenvolvimento de pesquisas.

Aos Professores do programa da Pós Graduação, pelos valiosos conhecimentos transmitidos através de suas disciplinas com dedicação, profissionalismo e amizade. A todos os demais professores, colegas e funcionários tais como: Lídia, Tatiane, Cláudio e Adriana por todo suporte técnico e direcionamento, o meu sincero agradecimento.

Eu sei o preço do sucesso: dedicação, trabalho duro, e uma incessante devoção às coisas que você quer ver acontecer.

(Frank Lloyd Wright)

RESUMO

ARAUJO, Gutemberg Porto de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2024. **Eficiência de utilização e exportação de nutrientes por grãos de cultivares de soja em lavouras de elevada produtividade.** Orientador: Júlio César Lima Neves. Coorientador: Reinaldo Bertola Cantarutti.

No seguimento dos anos evidenciou-se o crescimento significativo da produtividade de soja por conta das tecnologias aplicadas em nutrição mineral de plantas, melhoramento genético, manejo do solo e de sua fertilidade. A criação e atualização de um sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes com base em balanço nutricional no sistema solo-planta, a exemplo do sistema FERTCALC® - SOJA, é instrumento altamente importante para a racionalização da fertilização da cultura. No módulo-planta desse sistema, há o cálculo da exportação de nutrientes pelos grãos, com base em dados obtidos de cultivares “antigas” da cultura. Os objetivos deste trabalho foram: avaliar a composição química mineral e a eficiência de utilização de nutrientes nos grãos de cultivares atualmente utilizadas em lavouras de soja de alta produtividade, sob manejo intensivo, versus a das cultivares “antigas”; avaliar a existência de correlação entre os teores de nutrientes nos grãos e a produtividade de cultivares atuais de soja; obter as quantidades de nutrientes exportáveis com base na produtividade de grãos para as cultivares atuais de soja e compará-las com as quantidades exportáveis para as cultivares “antigas”; contribuir para a atualização do módulo-planta (módulo Requerimento) do sistema de balanço nutricional FERTCALC® - SOJA. Foram obtidas estatísticas descritivas para a produtividade e teores de nutrientes nos grãos e utilizou-se o teste t para comparar os teores de nutrientes das cultivares atuais com as “antigas”. Realizou-se, também, análise multivariada por componentes principais aplicada aos dados de eficiência de utilização de nutrientes nos grãos das cultivares atuais. Conclui-se que: a) não há correlação entre os teores de macronutrientes e micronutrientes nos grãos e a produtividade das culturas atuais, exceto para o fósforo (P); b) há diferenças entre as cultivares atuais e as “antigas” em relação aos teores médios de nutrientes nos grãos, sendo o sentido e a magnitude das diferenças variáveis conforme o nutriente e a fonte bibliográfica, com reflexos nas estimativas de quantidades exportáveis de nutrientes em função das produtividades de grãos de soja.; c) os resultados deste trabalho contribuem para o aprimoramento do módulo-planta (módulo Requerimento) do FERTCALC® - SOJA.

Palavras-chave: soja-nutrientes; soja-cultivares; soja-produtividade; soja-requerimento nutricional; soja-recomendação de adubação.

ABSTRACT

ARAUJO, Gutemberg Porto de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2024.
Nutrient use efficiency and exportation by soybean cultivars in high-yield crops.
Adviser: Júlio César Lima Neves. Co-adviser: Reinaldo Bertola Cantarutti.

Over the years, there has been significant growth in soybean productivity due to technologies applied to mineral plant nutrition, genetic improvement, soil management and soil fertility. The creation and updating of a corrective and fertilizer recommendation system based on nutritional balance in the soil-plant system, such as the FERTCALC® - SOJA system, is a highly important instrument for rationalizing crop fertilization. In the plant module of this system, the export of nutrients by grains is calculated, based on data obtained from “old” cultivars of the crop. The objectives of this work were: to evaluate the mineral chemical composition and nutrient use efficiency in grains of cultivars currently used in high-yield soybean crops, under intensive management, versus that of “old” cultivars; evaluate the existence of a correlation between nutrient content in grains and the productivity of current soybean cultivars; obtain the quantities of exportable nutrients based on grain productivity for current soybean cultivars and compare them with the exportable quantities for the “old” cultivars; contribute to updating the plant module (Requirement module) of the FERTCALC® - SOJA nutritional balance system. Descriptive statistics were obtained for productivity and nutrient content in the grains and the t test was used to compare the nutrient content of current cultivars with the “old” ones. Multivariate principal component analysis was also performed on the nutrient use efficiency data in the grains of current cultivars. It is concluded that: a) there is no correlation between the levels of macronutrients and micronutrients in the grains and crop productivity current, except for phosphorus (P); b) there are differences between the current and “old” cultivars in relation to the average nutrient content in the grains, with the direction and magnitude of the differences varying depending on the nutrient and the bibliographic source, with impacts on the estimates of exportable quantities of nutrients in function of soybean grain yields; c) the results of this work contribute to the improvement of the plant module (Request module) of FERTCALC® - SOJA.

Keywords: soybeans-nutrients; soybeans-cultivars; soybeans-yield; soybeans-nutritional requirement; soybeans-fertilizer recommendation.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	9
2. MATERIAL E MÉTODOS	14
2.1. Composição química mineral dos grãos de cultivares de soja	14
2.2. Eficiência de Utilização Compartimentalizada de Nutrientes nos Grãos e Correlação da Produtividade com a Composição Mineral dos Grãos	15
2.3. Comparação dos teores médios de nutrientes entre as cultivares atuais e antigas	16
2.4. Composição do banco de dados utilizado para a modelagem de exportação de nutrientes	17
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
3.1. Produtividade e peso médio de grãos de cultivares atuais de soja	18
3.2. Teores de nutrientes nos grãos de cultivares atuais de soja	19
3.3 - Eficiência de Utilização Compartimentalizada de Nutrientes nos Grãos e Correlação da Produtividade com a Composição Mineral dos Grãos	21
3.4. Comparações de teores médios das cultivares atuais com as “antigas”	32
3.5. Exportação de nutrientes nos grãos de soja: Kurihara et al. (2013) e Araujo (2023)	35
3.6. Exportação de nutrientes nos grãos de soja: Santos et al. (2008) e Araujo (2023)	39
4. CONCLUSÕES	44
REFERÊNCIAS	45

1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max*) é uma das principais commodities no Brasil e no mundo. A produção de grãos da cultura no Brasil em 2023 foi de 154 milhões de toneladas, ocupando uma área de aproximadamente 45900 ha. Os estados que se destacam com maior produção são Mato Grosso com 26%, Paraná com 15%, Rio Grande do Sul 14%, Goiás 8%, Bahia e Minas Gerais com 5% da produção total (USDA, 2023). A receita estimada para toda a cadeia produtiva da soja é de cerca de 137,1 bilhões de dólares (CONAB, 2023), o que reafirma sua importância econômica no cenário nacional. Em Minas Gerais, segundo o LSPA – Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, a soja é uma das principais culturas agrícolas implantadas nas regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Em 2020 o Estado produziu cerca de 7 milhões toneladas de soja. Nas regiões citadas foram colhidos cerca de 903 mil ha, com produção total de cerca de 900400 t de grãos de soja (SEAPA, 2021).

Diante disso, diversas tecnologias vêm sendo empregadas para obtenção do maior potencial produtivo da cultura, dentre estas, destaca-se aquelas voltadas para o manejo da nutrição e adubação dos cultivos.

As quantidades de macronutrientes absorvidas pela cultura da soja obedecem a seguinte ordem Nitrogênio (N) > Potássio (K) > Enxofre (S) > Fósforo (P) > Cálcio (Ca) > Magnésio (Mg). Em termos de exportação, a partição acontece entre grãos e o restante da planta que permanece na área de cultivo. São exportados cerca de 84 % de N, 87 % de P, 56 % de K, 15 % de Ca, 22 % de Mg e 65 % de S a cada tonelada de grãos colhidos (EMBRAPA, 2008).

O conhecimento da magnitude da exportação de nutrientes é importante para o desenvolvimento de estratégias de monitoramento e adubação dos cultivos, com base nos sistemas de balanço nutricional. Para se calcular o balanço nutricional, se faz necessário conhecer as entradas e saídas de nutrientes do sistema produtivo, de forma que essas informações venham a auxiliar na definição da dose ideal de fertilizantes.

Dada a importância da cultura da soja, programas de melhoramento genético se empenharam na produção de cultivares mais produtivas e que usam de forma mais eficiente os recursos disponíveis. Isso reflete diretamente na capacidade da planta de soja em converter os recursos disponíveis em produção de grãos, alterando a quantidade de nutrientes absorvida e exportada mediante a colheita.

No manejo de culturas agrícolas visando a obtenção de altas produtividade normalmente utiliza-se duas estratégias: a adaptação do solo à planta e a adaptação da planta ao solo. Para tanto, é necessário que os nutrientes se encontrem balanceados e equilibrados, ou seja, que estejam em quantidades adequadas e equilibrados entre si. Caso essa condição não seja atendida, perdas na produção irão ocorrer (CARNEIRO, 2022).

As recomendações de corretivos e fertilizantes para a soja geralmente são feitas com base em resultados das análises de solo. Nesse contexto, foi desenvolvido, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), modelo de balanço entre o requerimento do nutriente pela cultura e o suprimento do nutriente pelo solo, incluindo o suprimento por resíduos da colheita anterior (Santos et al, 2008). Esses autores trabalharam com banco de dados da literatura para a parametrização do módulo planta (módulo Requerimento) e obtiveram equações matemáticas para estimação do acúmulo e exportação de nutrientes em função da produtividade de grãos esperada da cultura. De forma semelhante, Kurihara et al. (2013) utilizaram dados coletados em lavouras comerciais de soja na região do Mato Grosso do Sul, e desenvolveram modelo para estimar o acúmulo, a partição e a exportação de nutrientes, com base na produtividade de grãos e no teor foliar do nutriente no terceiro trifólio com pecíolo.

Existe a necessidade, contudo, de atualização desses modelos para as variedades de soja atualmente cultivadas.

Os objetivos do presente trabalho foram a) avaliar a composição química mineral de grãos de cultivares atualmente utilizadas em lavouras de soja de alta produtividade, sob manejo intensivo; b) avaliar a eficiência de utilização compartimentalizada de nutrientes nos grãos e a existência de correlação entre os teores de nutrientes nos grãos e a produtividade de cultivares atuais de soja; c) comparar os teores de nutrientes nos grãos de soja das cultivares atuais com os das cultivares “antigas”; d) estimar as quantidades de nutrientes exportáveis com base na produtividade de grãos para as cultivares atuais de soja e compará-las com as quantidades exportáveis para as cultivares “antigas”.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa (UFV) nas dependências do Departamento de Agronomia (DAA) e Departamento de Solos (DPS) e em cooperação com a empresa SNP Consultoria. Inicialmente, foi realizada a caracterização química mineral dos grãos de cultivares de soja atualmente cultivadas em lavouras experimentais e comerciais das regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba - MG.

2.1. Composição química mineral dos grãos de cultivares de soja

A produtividade e o peso médio de 1000 grãos (PMG) das cultivares de soja em estudo constam da tabela 1. Os teores de macronutrientes e micronutrientes nos grãos das cultivares foram determinados pelo Laboratório de Análise de Tecido do Departamento de Solos da UFV (DPS/UFV). Para a determinação do teor de N empregou-se o método de Kjeldahl; para P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn e Mn a mineralização nitroperclórica e a determinação por espectrometria de emissão por plasma induzido (ICP Plasma); para o B utilizou-se o método da calcinação com dosagem por espectrofotometria de absorção molecular.

Tabela 1 – Produtividade e peso médio de mil grãos (PMG) de cultivares de soja das regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba – MG

Código da Cultivar	Cultivar	Produtividade (sc ha ⁻¹)*	PMG (g)
1	CZ16B17 IPRO	92,80	177,57
2	AS3595i2x	86,38	225,83
3	M6110 i2x	86,09	211,66
4	M6100 XTD	88,14	227,64
5	M6210 Ipro	84,51	195,33
6	AS3640i2x	80,59	214,70
7	HO PARAGUAÇU (64HO130 I2X)	78,21	206,70
8	M 6430 XTD	83,16	213,50
9	Exata i2x (OURO VERDE) (64 IX60RFS)	79,36	227,97
10	Guepardo IPRO (67168 RFS)	80,79	217,18
11	NEOGEN 680	80,61	200,53
12	DM 69IX69	77,41	188,09
13	AS3707I2X	73,74	186,04
14	AS3700XTD	77,44	205,30
15	NEOGEN 71E	76,23	224,69
16	DM 72IX74	70,67	273,41
17	CREDENZ CZ37B39	65,54	235,81
18	SUPERA i2x (BRASMAX)(73IX74)	71,48	243,87

Continua...

19	CZ37B39 I2X	71,48	224,21
20	73i75RSF	67,95	273,23
21	CZ37B43	75,60	233,09
22	NEOGEN 720	80,40	217,35
23	DESAFIO (8473 RFS)	81,47	225,59
24	FOCO (74177 RFS)	80,49	217,48
25	DM 74K75	80,32	232,56
25	75i74RSF	78,30	210,52
27	NEO750	79,52	212,87
28	DM 76IX77	86,81	220,82
29	Dagma 7621	83,38	266,14
30	HO TAQUARI (80 H0 110)	85,16	207,97
31	NEOGEN 770	81,28	196,32
32	AS3790i2x	73,76	222,20
33	K7922I2X	82,74	240,14
34	Dagma 7921	90,84	258,05
35	77EA40	84,74	254,62
36	Olimpo (80182 RFS)	93,59	262,17
37	LENDARIA (80K80 RFS)	99,68	212,72
38	ADV4681 Ipro - SR1	76,69	174,20
38	ADV4681 Ipro - SR2	89,31	165,76
38	ADV4681 Ipro - SR3	61,00	146,68
39	CZ37B43Ipro - PM	75,87	199,14
39	CZ37B43Ipro - PO1	82,29	171,72
39	CZ37B43Ipro - PO2	67,99	167,45
40	Desafio RR - BM1	93,60	199,00
40	Desafio RR - BM2	85,53	198,60
40	Desafio - PER1	78,09	180,69
40	Desafio RR - PER2	70,77	215,00
40	Desafio RR - VM	98,07	178,84
41	Juruena Ipro - SR1	73,62	167,90
41	Juruena Ipro - SR2	95,54	171,70
41	Juruena Ipro - SR3	60,19	134,76

*Sacas de 60 kg.

Foi realizada análise estatística descritiva dos teores de nutrientes e produtividade obtidos para as cultivares atuais, constantes da tabela 1, abrangendo a média, desvio-padrão, coeficiente de variação, menor e maior valor e quartis.

2.2. Eficiência de Utilização Compartimentalizada de Nutrientes nos Grãos e Correlação da Produtividade com a Composição Mineral dos Grãos

Para cada nutriente, foi elaborado gráfico de quadrantes relacionando o teor do nutriente no grão versus a produtividade de grãos. O teor médio do nutriente no grão

e a produtividade média de grãos foram utilizados para a definição dos quatro quadrantes: quadrante 1: teor do nutriente no grão maior que o teor médio e produtividade maior que a média ; quadrante 2: teor médio do nutriente maior que o teor médio e produtividade menor que a média; quadrante 3: teor médio do nutriente menor que o teor médio e produtividade menor que a média; quadrante 4: teor médio do nutriente menor que o teor médio e produtividade maior que a média.

Os valores de eficiência de utilização compartimentalizada de nutrientes nos grãos (EUNuti) foram calculados pelo quociente entre a produtividade de matéria seca de grãos e o teor de cada nutriente nos grãos, conforme Sidiqi & Glass (1981). Os valores assim obtidos foram submetidos à análise de componentes principais (ACP), sendo considerados no modelo multivariado os componentes principais com autovalor ≥ 1 e, em cada CP, as variáveis com “loadings” de valor absoluto $\geq 0,707$. Foram obtidos gráficos de dispersão das variáveis de eficiência de utilização dos nutrientes (as EUNuti) nos CP e de dispersão das cultivares nos CP.

Foi realizada a análise de correlação de Pearson entre o teor de nutrientes nos grãos e a produtividade de grãos.

2.3. Comparação dos teores médios de nutrientes entre as cultivares atuais e antigas

Para avaliar a diferença entre os teores de nutrientes nos grãos das cultivares atuais e os de cultivares “antigas” (Santos et al., 2008 e Kurihara et al., 2013) foi utilizado o teste t de Student para as médias e no teste F para as variâncias.

Assim, inicialmente a homogeneidade de variância dos teores médios de nutrientes entre as cultivares atuais e os das cultivares “antigas” foi avaliada com base no teste F unilateral ($p < 0.05$) pelo quociente entre a maior e a menor variância, como mostrado na equação 1:

$$F = \frac{S_A^2}{S_B^2} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que

S_A^2 = variância do maior valor;

S_B^2 = variância de menor valor;

As médias dos teores de nutrientes nos grãos das cultivares atuais versus “antigas” foram comparadas pelo teste t bilateral ($p < 0,05$). Para as comparações entre populações com variância homogênea, o teste t foi aplicado pelas equações 2 e 3:

$$t = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{\sqrt{s_c^2 (1/n_1 + 1/n_2)}} \quad (\text{Equação 2})$$

$$s_c^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (\text{Equação 3})$$

em que

$(n_1 + n_2 - 2)$ são os graus de liberdade;

$\bar{y}_1 - \bar{y}_2$: médias de teores de nutrientes dos grupos de GMR;

s_1^2 e s_2^2 : variância das médias de teores de nutrientes de cada GMR (1) e do conjunto dos GMR (2), utilizadas em cada comparação;

s_c^2 : variância comum entre as populações em comparação;

n_1 e n_2 : número de amostras de cada população (1 e 2), em comparação.

Nos casos em que a variância foi heterogênea, foi utilizada a equação 4:

$$t = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{\sqrt{s_c^2 (1/n_1 + 1/n_2)}} \quad (\text{Equação 4})$$

E para o cálculo no número de graus de liberdade (n^*) a equação 5:

$$n^* = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2 - 1}} \quad (\text{Equação 5})$$

2.4. Composição do banco de dados utilizado para a modelagem de exportação de nutrientes

Para estimativa e modelagem da exportação de nutrientes, utilizou-se um banco de dados abrangendo os anos agrícolas 2018/2019, 2019/2020 e 2020/2021 de 65 talhões de cultivo comercial de soja da região do Alto Paranaíba – MG. O banco de dados continha as informações de produtividade de grãos, teores de nutrientes no

solo, teores foliares de nutrientes, além das doses de fertilizantes utilizadas nos cultivos.

Para padronização dos valores de produtividade com base no teor de umidade comercial (13 %) foi utilizada a equação 6, a seguir:

$$P = P_{sc} * 60 * 0,87 \text{ (Equação 6)}$$

Em que P é a produtividade em kg ha⁻¹ e P_{sc} é a produtividade em sc ha⁻¹.

Em seguida, para cada nutriente, foi estimada a exportação de nutrientes nos grãos dos 65 talhões com base no teor médio de nutrientes das cultivares atuais de soja em estudo e também com base no teor médio de nutrientes de cultivares antigas (as de Santos et al, 2008 e de Kurihara et al., 2013). Para tanto, utilizou-se a equação 7, abaixo:

$$Nut_Exp = P * t_Nut_Grãos \text{ (Equação 7)}$$

Em que Nut_Exp é a exportação de nutrientes, em kg ha⁻¹, referente aos 65 talhões de soja, P é a produtividade em kg ha⁻¹ e t_Nut_Grãos é o teor de nutriente nos grãos das cultivares atuais e “antigas”.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Produtividade e peso médio de grãos de cultivares atuais de soja

As estatísticas descritivas da produtividade média e do peso médio de mil grãos (PMG) avaliados nas cultivares atuais de soja em estudo constam da tabela 2. A variabilidade média da produtividade das cultivares atuais foi relativamente baixa, como indicado pelo valor de coeficiente de variação (CV) de 10,83, e algo menor se comparada à variabilidade do peso médio de mil grãos (CV 14,76%). A mediana da produtividade (80,49 sc/ha), como também a distância interquartil (quartil 1 75,74 sc/ha ao quartil 3 85,35 sc/ha), são indicativas e refletem a elevada produtividade das cultivares atuais de soja sob manejo intensivo.

Tabela 2 – Estatística descritiva para peso médio de mil grãos e produtividade

	Peso médio de 1000 grãos (g)	Produtividade (sc/ha)
Média	210,5	80,38
Desvio padrão	31,07	8,71
CV (%)	14,76	10,83
Menor valor	134,76	60,19
1° Quartil	191,71	75,74
2° Quartil	212,87	80,49
3° Quartil	226,74	85,35
Maior valor	273,41	99,68

Em relação ao PMG, a mediana (212,87 g) e a distância interquartil (191,71 g a 226,74 g) também indicam e refletem a variabilidade existente entre a população de cultivares atuais estudada. média do peso de mil grãos (PMG) foi de 210,50 g, com desvio padrão de 31,07 g e coeficiente de variação de 14,76 g indicando a variabilidade do conjunto de dados. O menor valor obtido foi de 134,76 g e o maior valor 273,41 g. Filho et al. (2022) trabalhando com PMG de soja em diferentes graus de maturação relativa com duas épocas de semeadura concluíram que as cultivares que apresentaram os maiores PMG são GARRA IPRO da primeira época de semeadura e a DM 66I68 IPRO da segunda época de semeadura, pois apresentaram um melhor potencial de rendimento de grãos comparado as demais cultivares analisadas.

3.2. Teores de nutrientes nos grãos de cultivares atuais de soja

Os teores médios de macro e micronutrientes dos grãos das cultivares de soja atualmente utilizadas nas regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, variam de acordo com a variedade em campo, conforme a tabela 3.

Tabela 3 – Teores médios de macro e micronutrientes das cultivares atuais de soja em estudo.

Código da Cultivar	Cultivar	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
		g kg ⁻¹							mg kg ⁻¹			
1	CZ16B17 IPRO	62,4	5,5	18,4	2,5	2,6	2,9	8,9	52,0	31,3	19,8	30,8
2	AS3595i2x	66,9	5,7	19,2	3,0	3,3	3,1	10,0	34,5	35,1	22,7	35,4
3	M6110 i2x	57,3	5,6	18,5	2,2	2,5	2,9	9,6	56,6	33,1	22,0	31,4
4	M6100 XTD	60,7	5,3	19,0	2,0	2,5	2,9	8,9	25,3	26,7	18,8	32,0
5	M6210 lpro	58,6	5,2	19,9	2,2	2,6	3,0	8,4	28,8	28,7	20,6	31,3
6	AS3640i2x	62,1	5,6	19,3	1,7	2,4	3,2	8,8	76,0	32,6	18,8	33,7
7	HO PARAGUAÇU (64HO130 I2X)	57,5	5,1	17,8	1,8	2,4	3,0	7,2	38,1	25,5	18,9	35,0
8	M 6430 XTD	62,4	4,8	17,3	3,0	3,0	3,1	7,7	73,4	23,6	22,4	26,6
9	Exata i2x (OURO VERDE) (64 IX60RFS)	60,0	5,4	17,9	2,1	2,8	2,9	7,7	38,2	26,5	19,1	34,0
10	Guepardo IPRO (67168 RFS)	63,2	5,5	17,6	3,1	2,6	3,0	8,5	32,6	30,5	21,4	29,1
11	NEOGEN 680	61,3	5,9	18,8	2,4	2,4	3,2	10,0	40,6	29,3	18,7	34,9
12	DM 69IX69	59,9	5,6	18,2	3,3	2,8	3,4	7,2	30,1	25,8	22,3	32,0
13	AS3707I2X	59,9	5,5	19,3	2,1	2,5	3,1	8,2	29,8	28,6	20,5	30,4
14	AS3700XTD	59,4	5,2	18,6	2,3	2,3	3,1	8,1	48,5	27,8	19,0	29,8
15	NEOGEN 71E	59,2	5,4	17,8	2,2	2,8	3,0	9,0	143,1	29,0	19,0	28,6
16	DM 72IX74	61,3	5,1	18,1	2,2	2,7	2,9	9,6	31,6	29,2	18,6	28,4
17	CREDENZ CZ37B39	60,7	5,4	18,3	2,5	2,9	3,0	10,8	35,9	30,3	20,0	34,7
18	SUPERA i2x (BRASMAX)(73IX74)	62,9	5,4	17,7	2,2	2,7	2,8	9,8	37,9	29,8	20,4	29,3
19	CZ37B39 I2X LANÇAMENTO	63,6	5,1	18,1	2,6	2,9	3,3	9,0	41,6	29,4	22,9	35,5
20	73i75RSF	57,2	5,5	19,0	2,2	2,9	2,9	9,7	31,1	31,6	20,5	30,9
21	CZ37B43	61,8	5,3	18,5	2,8	3,1	3,2	8,8	30,5	27,5	24,8	34,0
22	NEOGEN 720	57,3	5,3	18,8	2,7	2,9	3,0	9,6	30,8	29,4	22,9	34,4
23	DESAFIO (8473 RFS)	61,7	4,5	18,1	2,5	2,6	2,9	7,8	29,8	25,9	23,1	31,8
24	FOCO (74177 RFS)	56,2	5,5	18,8	2,6	2,7	3,1	8,4	26,0	31,5	21,9	36,5

Continua...

25	DM 74K75	63,2	4,7	19,2	2,2	2,4	3,0	7,6	36,7	26,7	19,8	35,3
26	75i74RSF	56,4	5,1	17,1	2,3	2,8	3,0	10,1	285,3	30,7	20,8	36,6
27	NEO750	60,4	4,9	16,7	2,5	2,6	2,9	9,0	86,5	30,5	20,7	38,7
28	DM 76IX77	59,3	4,7	16,1	2,2	2,2	2,9	8,0	48,1	26,9	21,5	34,8
29	Dagma 7621	57,8	5,0	17,8	2,2	2,6	3,0	9,1	44,2	30,4	21,5	33,0
30	HO TAQUARI (80 H0 110)	60,3	4,9	18,0	2,3	2,6	2,9	10,3	69,7	25,3	20,8	32,9
31	NEOGEN 770	59,3	5,2	16,3	2,7	2,7	3,0	9,4	51,0	32,2	21,2	38,0
32	AS3790i2x	61,5	4,8	18,0	2,0	2,5	2,9	8,4	58,7	25,3	21,0	28,7
33	K7922I2X	61,4	5,0	19,4	2,2	2,8	3,1	10,0	42,9	31,9	21,2	32,3
34	Dagma 7921	60,0	4,5	18,2	2,5	2,9	2,7	7,8	47,0	27,8	21,9	28,0
35	77EA40	57,6	5,1	17,1	2,3	2,7	2,7	8,5	51,3	27,9	18,6	31,3
36	Olimpo (80182 RFS)	63,2	4,6	18,4	2,6	2,9	2,6	8,8	37,9	26,3	19,9	35,3
37	LENDARIA (80K80 RFS)	60,7	4,9	19,1	2,4	2,5	2,7	8,2	78,6	27,6	19,1	25,1
38	ADV4681 Ipro - SR1	62,9	5,5	19,3	2,5	3,0	3,0	8,1	29,2	49,0	24,4	35,0
38	ADV4681 Ipro - SR2	60,0	5,5	21,0	2,3	2,9	3,2	8,4	26,0	42,2	23,1	31,9
38	ADV4681 Ipro - SR3	63,8	5,4	20,7	2,4	2,7	3,1	8,4	17,2	37,4	43,9	31,8
39	CZ37B43Ipro - PM	61,1	5,5	18,6	2,2	3,1	2,9	9,8	41,1	31,9	19,4	30,3
39	CZ37B43Ipro - PO1	53,0	5,3	17,9	2,4	2,9	2,8	7,8	12,6	28,7	14,8	30,1
39	CZ37B43Ipro - PO2	57,9	5,3	18,3	2,8	2,7	2,6	7,5	22,0	29,4	14,9	32,8
40	Desafio RR - BM1	57,8	5,5	22,3	2,3	3,0	3,1	7,3	17,3	48,0	27,7	31,9
40	Desafio RR - BM2	61,5	5,2	19,5	2,3	2,8	3,1	6,0	26,2	28,2	18,7	30,3
40	Desafio - PER1	60,8	5,0	19,2	2,1	2,6	3,1	10,4	23,7	37,6	19,9	33,0
40	Desafio RR - PER2	58,2	5,7	20,3	2,0	2,6	3,4	9,3	16,7	40,4	19,1	34,6
40	Desafio RR - VM	57,8	5,2	19,6	2,7	2,6	3,1	9,1	22,7	34,3	22,5	31,6
41	Juruena Ipro – SR1	54,3	5,1	21,8	2,6	2,5	2,9	6,1	10,3	34,3	24,0	32,9
41	Juruena Ipro – SR2	55,4	5,3	20,9	2,8	2,7	2,8	7,5	17,1	40,7	22,4	35,3
41	Juruena Ipro – SR3	58,0	5,8	21,8	2,5	2,6	2,9	7,4	15,1	44,9	29,9	39,6

É possível observar que a cultivar Juruena Ipro de lavoura comercial foi a que apresentou o menor teor abaixo de 56 g kg^{-1} de N. Em relação a cultivar AS3595i2x, desenvolvida em lavoura experimental, seu teor foi superior a todas as cultivares analisadas sendo de $66,85 \text{ g kg}^{-1}$ de N. Quanto ao P, a cultivar que apresenta o menor teor desse nutriente foi a DESAFIO (8473 RFS), sendo de $4,46 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto que a cultivar NEOGEN 680 foi a que apresentou maior teor de P, com valor de $5,89 \text{ g kg}^{-1}$ em lavouras comerciais.

Quanto ao K, percebe-se que a cultivar DM 76IX77 de lavoura comercial foi a que apresentou o menor teor ($16,11 \text{ g kg}^{-1}$). Já a cultivar DESAFIO RR também cultivada em lavoura comercial, apresentou teor de K superior às demais cultivares sendo de $22,28 \text{ g kg}^{-1}$ K. Em relação aos teores de Ca, as cultivares que apresentaram o menor teor desse nutriente foram AS3640i2x e HO PARAGUAC, sendo seus respectivos teores de $1,65$; $1,76 \text{ g kg}^{-1}$ que são de lavouras experimentais, já a cultivar DM 69IX69, foi a que apresentou maior teor de Ca de $8,26 \text{ g kg}^{-1}$.

Em relação ao teor médio de Mg, a cultivar DM 76IX77 de lavoura experimental foi a que apresentou o menor teor ($2,24 \text{ g kg}^{-1}$) em contrapartida da cultivar AS3595i2x que apresentou um teor de $8,25 \text{ g kg}^{-1}$ Mg. Para o S, as cultivares que apresentaram o menor teor desse nutriente foram Dagma 7921, 77EA40, Olimpo (80182 RFS), LENDARIA (80K80 RFS) tendo seus respectivos teores de $2,98$; $2,69$; $2,64$; $2,45 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. A cultivar Desafio RR, foi a que apresentou maior teor de S sendo de $3,43 \text{ g kg}^{-1}$.

Os teores de micronutrientes (mg kg^{-1}) nos grãos de soja das cultivares atuais podem ser observados na tabela 3. Das cultivares de lavouras experimentais e comerciais, ADV 4681 Ipro, CZ37B43 Ipro, Desafio RR e Juruena Ipro foram as que apresentaram os menores teores de Fe, abaixo de 50 mg kg^{-1} , enquanto que os maiores teores foram para a cultivar 75i74 RSF desenvolvida em lavoura experimental sendo de $285,3 \text{ mg kg}^{-1}$. Em relação ao Cu, as cultivares que apresentaram o menor teor desse nutriente foram HO PARAGUAÇU (64HO130 I2X) e DM 69IX69 sendo seus respectivos teores abaixo de $7,5 \text{ mg kg}^{-1}$.

Em relação ao Zn, a cultivar M 6430 XTD apresentou o menor teor, abaixo $23,6 \text{ mg kg}^{-1}$. Em relação a cultivar ADV 4681 Ipro, desenvolvida em lavouras comerciais, seu teor foi superior a todas as cultivares analisadas sendo de 49 mg kg^{-1} . Já para Mn, as cultivares que apresentaram os menores teores desse nutriente foram CZ37B43 Ipro e CZ37B43 Ipro tendo seus respectivos teores de $14,8$; $14,9 \text{ mg kg}^{-1}$.

Já a cultivar ADV 4681 Ipro foi a que apresentou maior teor Mn sendo de 43,9 mg kg⁻¹.

Por fim, em relação aos teores de B, a cultivar de lavoura experimental LENDARIA (80K80 RFS) apresentou o menor teor, sendo de 25,1 mg kg⁻¹, ao passo que as cultivares NEO 750 e NEOGEN 770 desenvolvidas em lavouras experimentais e Juruena Ipro de lavoura comercial apresentaram os maiores teores de B.

Lima et al. (2004) trabalhando com características químicas do solo e balanço de nutrientes no sistema solo-planta cultivado com soja, aborda que as quantidades de nutrientes exportadas nos grãos foram de 250 kg ha⁻¹ de N, 47 kg ha⁻¹ de K e 22 kg ha⁻¹ de P. Em média, para cada 1.000 kg ha⁻¹ de grãos de soja, nas condições do trabalho, há uma exportação de 75 kg ha⁻¹ de N, 14 kg ha⁻¹ de K (17 kg de K₂O) e 7 kg ha⁻¹ de P (16 kg de P₂O₅).

A tabela 4 apresenta a análise de estatística descritiva para os teores de nutrientes das cultivares em estudos. Os teores médios para os macronutrientes foram de: 59,94 g kg⁻¹ de N, 5,23 g kg⁻¹ de P, 18,74 g kg⁻¹ de K, 2,39 g kg⁻¹ de Ca, 2,70 g kg⁻¹ de Mg e 2,98 g kg⁻¹ de S. Com relação ao coeficiente de variação (CV), que corresponde a um indicador de variabilidade, os valores obtidos foram em geral inferiores a 10%, indicando pequena variabilidade, exceto para o Ca que apresentou CV médio, classificado entre 10 e 20%. Para os micronutrientes, os teores médios foram de 8,43 mg kg⁻¹ para Cu, 44,67 mg kg⁻¹ para Fe, 31,28 mg kg⁻¹ para Zn, 21,41 mg kg⁻¹ para Mn e 32,6 mg kg⁻¹ para B. O CV variou de 10 a 20%, exceto para o Fe, que apresentou CV de 92,3 % representando alta variabilidade.

Tabela 4 – Estatística descritiva para os teores de macronutrientes e micronutrientes

	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
Média	59,9	5,2	18,7	2,4	2,7	3,0	8,6	44,7	31,3	21,4	32,6
Desvio padrão	2,7	0,3	1,3	0,3	0,2	0,2	1,1	41,2	5,7	4,1	3,0
CV (%)	4,4	6,3	7,0	13,2	8,2	5,9	12,5	92,3	18,3	19,2	9,3
Menor valor	53,0	4,5	16,1	1,7	2,2	2,6	6,0	10,3	23,6	14,8	25,1
1° Quartil	57,8	5,1	18,0	2,2	2,6	2,9	7,8	26,1	27,7	19,1	30,6
2° Quartil	60,0	5,3	18,5	2,3	2,7	3,0	8,5	35,9	29,4	20,8	32,3
3° Quartil	61,6	5,5	19,3	2,6	2,9	3,1	9,5	48,3	32,4	22,4	34,9
Maior valor	66,9	5,9	22,3	3,3	3,3	3,4	10,8	285,3	49,0	43,9	39,6

3.3 - Eficiência de Utilização Compartimentalizada de Nutrientes nos Grãos e Correlação da Produtividade com a Composição Mineral dos Grãos

A dispersão gráfica da composição mineral e a produtividade de grãos das cultivares atuais de soja estudadas é mostrada nas figuras 1 a 6.

Figura 1 – Gráfico de dispersão dos teores de N e de P nos grãos versus a produtividade de grãos de cultivares atuais de soja estudadas

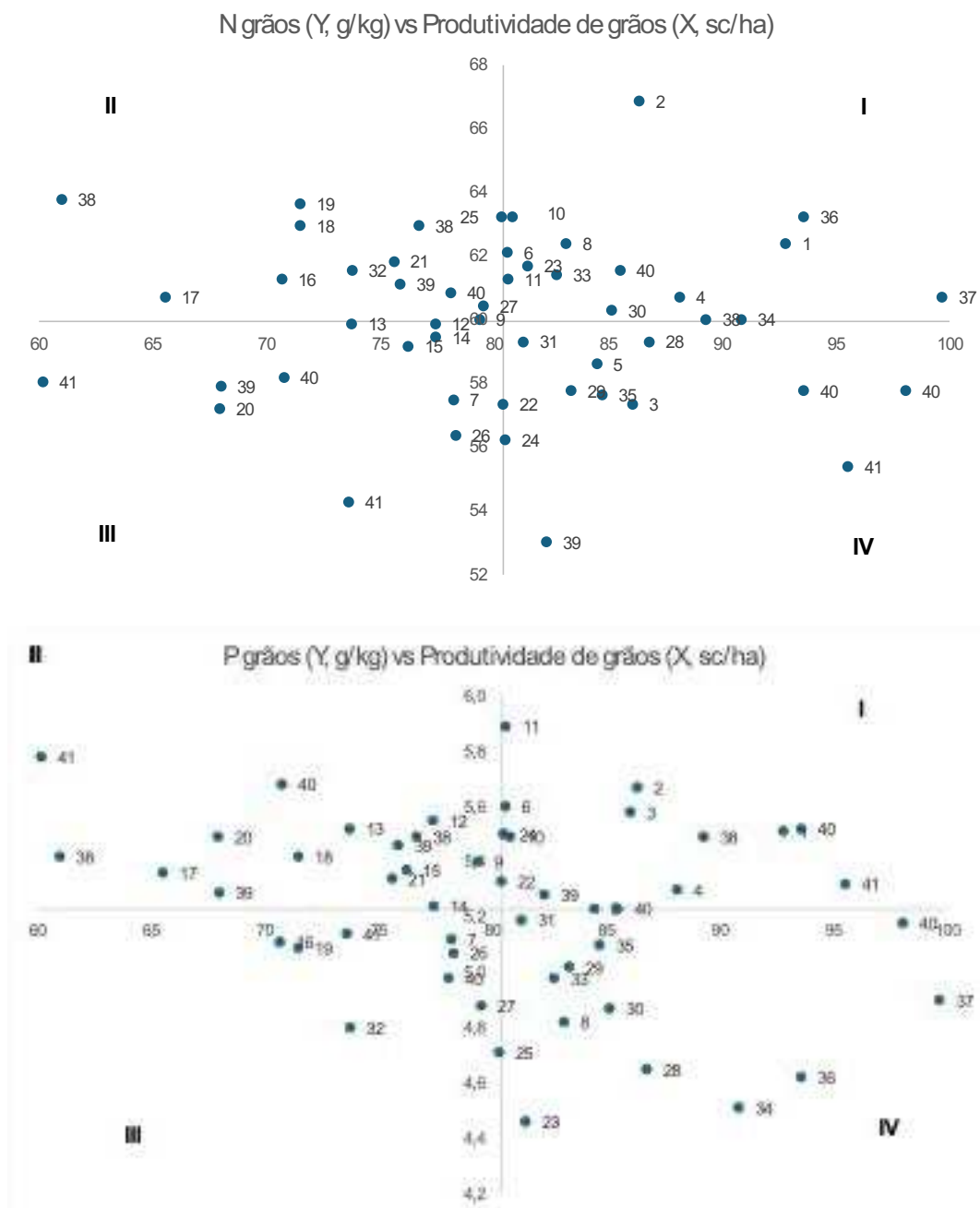


Figura 2 – Gráfico de dispersão dos teores de K e de Ca nos grãos versus a produtividade de grãos de cultivares atuais de soja estudadas

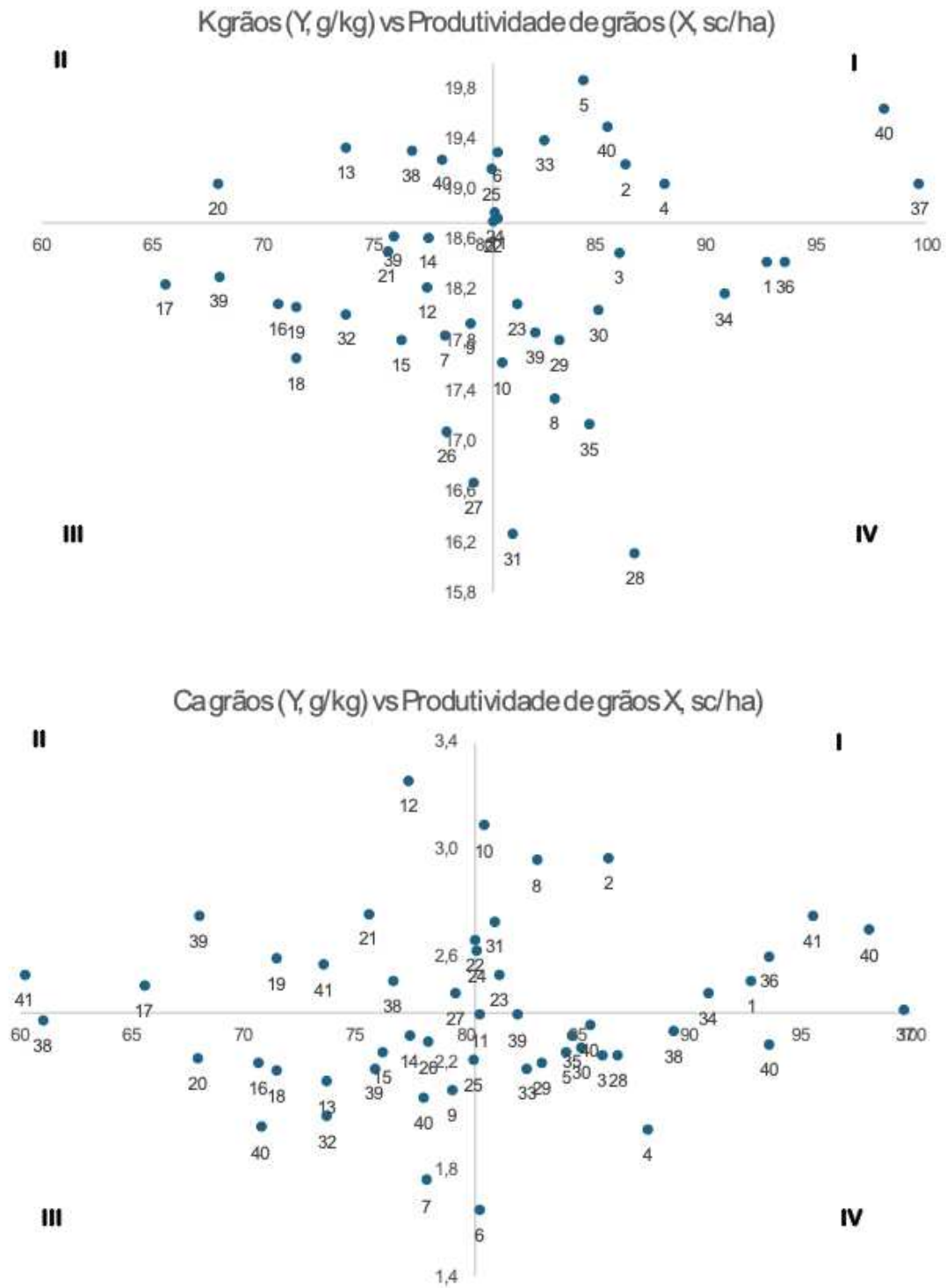


Figura 3 – Gráfico de dispersão dos teores de Mg e de S nos grãos versus a produtividade de grãos de cultivares atuais de soja estudadas

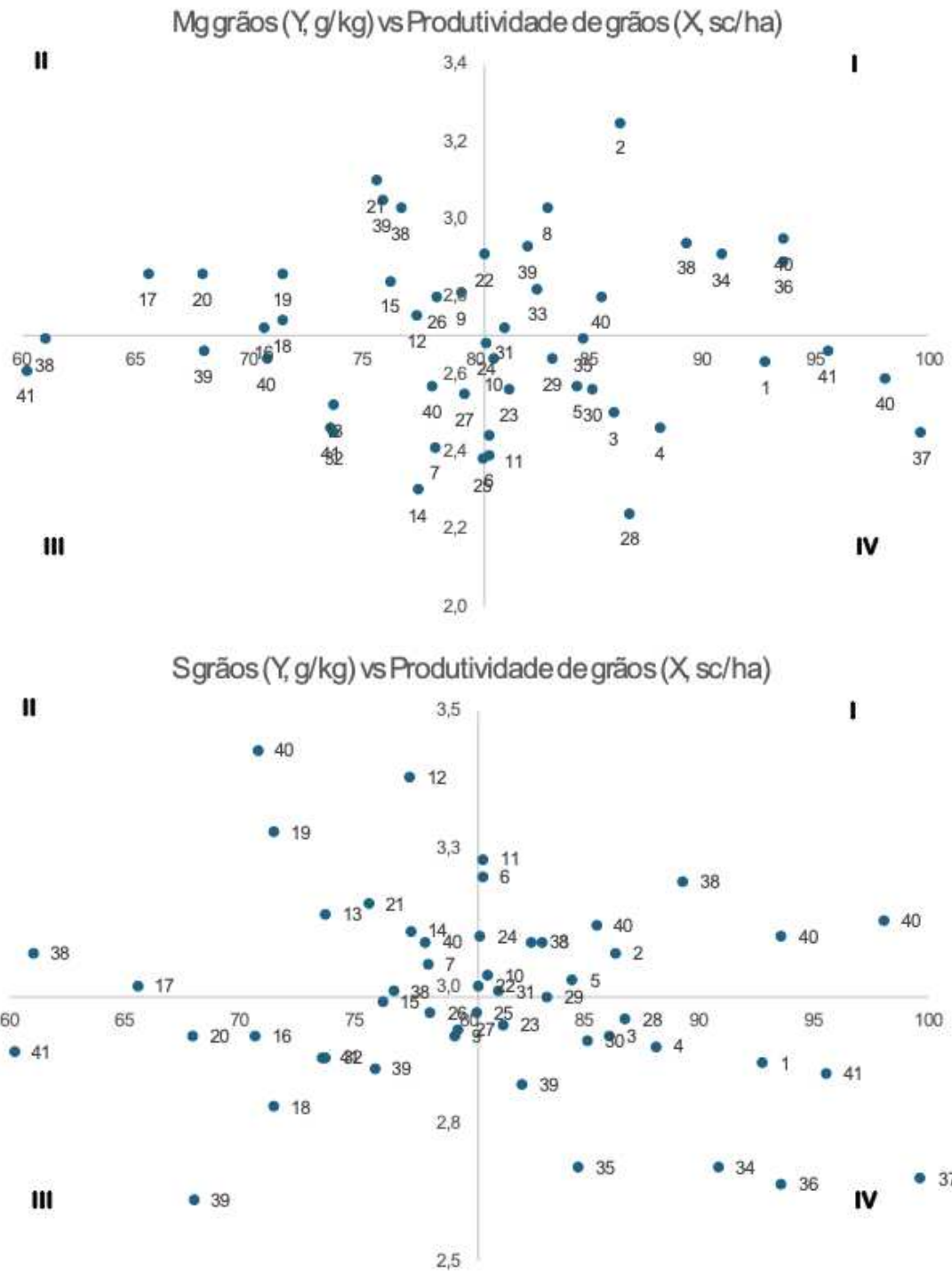


Figura 4 – Gráfico de dispersão dos teores de Cu e de Fe nos grãos versus a produtividade de grãos de cultivares atuais de soja estudadas

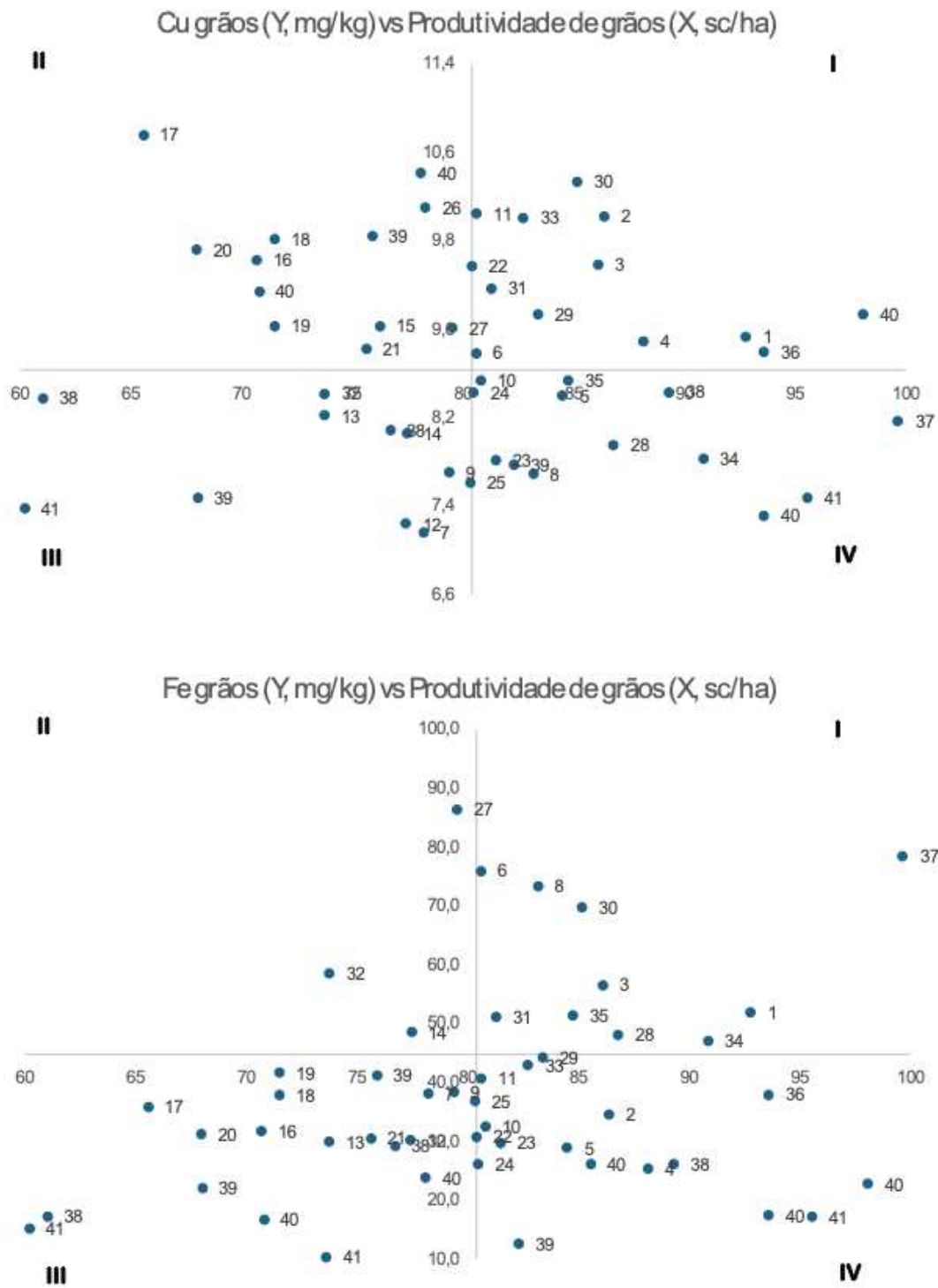


Figura 5 – Gráfico de dispersão dos teores de Zn e de Mn nos grãos versus a produtividade de grãos de cultivares atuais de soja estudadas

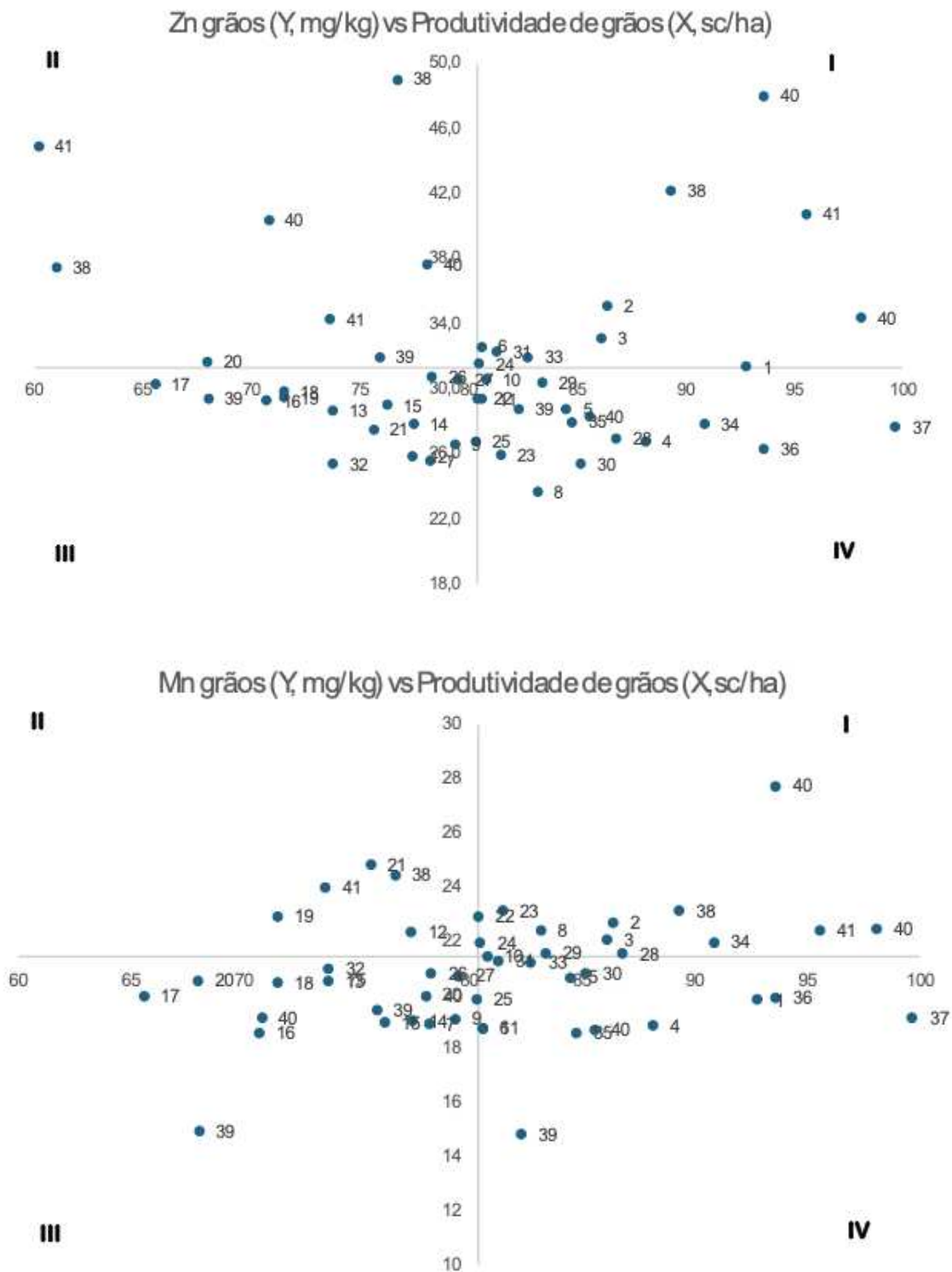
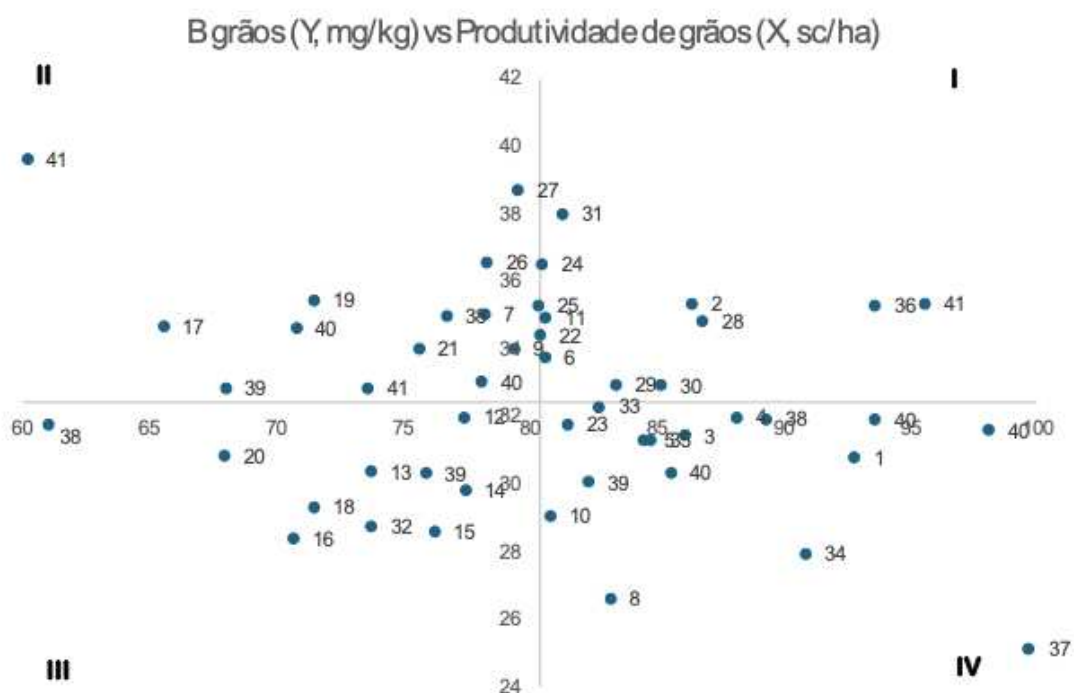


Figura 6 – Gráfico de dispersão dos teores de B nos grãos versus a produtividade de grãos de cultivares atuais de soja estudadas



Os quadrantes I e IV significam produtividade maior do que a produtividade média, mas no quadrante I o teor do nutriente no grão é maior do que o teor médio, e no quadrante IV o teor do nutriente no grão é menor do que o teor médio. Ou seja, as cultivares de soja alocadas no quadrante I são mais produtivas do que a produtividade média das cultivares, mas devem propiciar exportação do nutriente maior do que a exportação média; já as cultivares alocadas no quadrante IV são mais produtivas do que a produtividade média das cultivares, mas exportam menor quantidade de nutriente do que a exportação média.

As cultivares 1 a 37 foram cultivadas numa mesma área experimental na região de Araxá – MG, portanto nas mesmas condições de sítio de produção e de manejo; já as cultivares 38 a 41 foram cultivadas em lavouras comerciais não necessariamente nas mesmas condições de sítio e de manejo, o que se reflete em que para essas cultivares (38 a 41) pode haver a alocação em quadrantes distintos.

Expressando a produtividade de grãos em base a matéria seca e relacionando-a com o teor do nutriente no grão, à semelhança do índice proposto por Sidiqui & Glass (1981) para a eficiência de utilização de nutrientes, o que corresponde, na forma como feito no presente trabalho a um índice de eficiência de utilização compartimentalizada do nutriente, resulta nos valores constantes da tabela 5a, cujas estatísticas descritivas são apresentadas na tabela 5b

Tabela 5a – Produtividade de matéria seca de grãos e respectiva eficiência de utilização de nutrientes em cultivares atuais de soja estudadas neste trabalho

Código da Cultivar	Cultivar	Mat.Seca grãos kg/há	EUN	EUP	EUK kg ² /g	EUCa	EUMg	EUS	EUCu	EUFe	EUZn kg ² /mg	EUMn	EUB
1	CZ16B17 IPRO	4844	77,7	879,2	263,0	1930,0	1841,9	1693,8	542,2	93,2	154,7	244,7	157,4
2	AS3595I2x	4509	67,4	795,2	234,8	1518,2	1387,4	1473,5	449,8	130,8	128,6	198,9	127,5
3	M6110 I2x	4494	78,4	805,3	242,9	2015,1	1797,5	1544,2	469,1	79,5	135,9	204,1	143,0
4	M6100 XTD	4601	75,8	868,1	241,7	2359,5	1870,4	1592,1	517,8	181,9	172,2	244,2	143,8
5	M6210 Ipro	4411	75,3	843,5	222,0	1969,3	1716,4	1465,5	525,1	153,3	153,6	213,7	140,8
6	AS3640I2x	4207	67,7	751,2	218,0	2549,5	1760,1	1314,6	478,8	55,4	129,2	224,3	124,7
7	HO PARAGUAÇU (64HO130 I2X)	4082	71,0	797,3	228,8	2319,5	1693,9	1342,9	570,6	107,0	159,9	215,9	116,5
8	M 6430 XTD	4341	69,6	900,6	250,3	1466,5	1432,6	1409,4	564,9	59,1	183,7	194,1	163,1
9	xata I2x (OURO VERDE) (64 IX60RF)	4143	69,0	767,1	230,9	1972,7	1474,2	1423,6	538,0	108,4	156,1	216,8	121,8
10	Guepardo IPRO (67168 RFS)	4217	66,7	768,2	239,4	1364,9	1597,5	1396,5	494,4	129,4	138,2	196,8	145,0
11	NEOGEN 680	4208	68,7	714,4	224,2	1768,0	1724,5	1302,7	418,9	103,7	143,5	224,5	120,5
12	DM 69IX69	4041	67,5	728,1	221,8	1239,5	1469,4	1195,5	558,5	134,3	156,8	181,1	126,3
13	AS3707I2X	3849	64,3	697,4	199,1	1807,2	1527,5	1229,8	468,6	129,1	134,4	187,8	126,8
14	AS3700XTD	4042	68,0	771,4	217,1	1757,5	1757,5	1304,0	501,8	83,4	145,6	212,6	135,6
15	NEOGEN 71E	3979	67,3	741,0	223,5	1776,4	1401,1	1339,8	440,7	27,8	137,4	209,9	139,2
16	DM 72IX74	3689	60,2	721,9	203,9	1676,7	1356,2	1267,6	383,1	116,7	126,2	198,6	129,9
17	CREDENZ CZ37B39	3421	56,4	638,3	187,5	1374,1	1196,3	1140,5	318,0	95,4	113,1	171,5	98,7
18	SUPERA I2x (BRASMAX)(73IX74)	3731	59,3	688,4	211,3	1719,5	1361,8	1342,2	380,2	98,5	125,3	182,6	127,2
19	CZ37B39 I2X LANÇAMENTO	3731	58,6	733,1	206,5	1440,7	1304,7	1137,6	413,2	89,6	126,8	162,8	105,2
20	73I75RSF	3547	62,0	646,1	186,3	1597,9	1240,3	1219,0	364,9	114,0	112,1	172,8	115,0
21	CZ37B43	3946	63,8	739,0	213,2	1429,9	1273,1	1252,9	447,4	129,3	143,6	159,1	115,9
22	NEOGEN 720	4197	73,2	787,4	223,8	1577,7	1442,2	1398,9	438,8	136,4	142,8	183,3	122,0
23	DESAFIO (8473 RFS)	4253	69,0	953,6	235,1	1681,0	1661,3	1451,5	544,2	142,9	164,0	184,0	133,9
24	FOCO (74177 RFS)	4202	74,7	763,9	223,2	1603,6	1567,7	1359,7	498,7	161,3	133,4	191,9	115,0
25	DM 74K75	4193	66,3	890,1	218,8	1897,1	1761,6	1421,2	550,9	114,3	157,0	211,5	118,8
26	75I74RSF	4087	72,5	806,2	239,3	1792,7	1459,8	1385,6	404,7	14,3	133,2	196,7	111,8
27	NEO750	4151	68,7	850,6	249,0	1687,4	1627,9	1421,6	460,7	48,0	136,1	200,5	107,2
28	DM 76IX77	4532	76,4	974,5	281,3	2032,1	2023,0	1541,3	569,7	94,2	168,5	210,7	130,1
29	Dagma 7621	4352	75,4	867,0	244,5	1978,3	1648,6	1460,5	476,7	98,6	143,3	202,1	132,0
30	HO TAQUARI (80 H0 110)	4445	73,7	912,8	246,4	1967,0	1736,5	1532,9	429,9	63,7	175,5	213,9	135,0
31	NEOGEN 770	4243	71,6	817,5	260,9	1554,2	1559,9	1419,0	452,8	83,1	131,6	199,8	111,6
32	AS3790I2x	3850	62,6	802,1	213,8	1925,1	1571,5	1341,5	457,5	65,6	151,9	183,5	134,0
33	K7922I2X	4319	70,3	867,3	222,7	1981,2	1531,6	1402,3	431,7	100,6	135,3	203,9	133,7
34	Dagma 7921	4742	79,0	1051,4	261,0	1927,5	1629,5	1775,9	605,6	100,8	170,6	216,1	169,7
35	77EA40	4423	76,8	867,3	258,1	1923,2	1644,3	1656,7	518,6	86,2	158,4	237,9	141,3
36	Olimpo (80182 RFS)	4886	77,3	1057,5	265,2	1879,1	1690,5	1850,6	555,5	128,8	185,9	245,4	138,5
37	LENDARIA (80K80 RFS)	5203	85,7	1061,9	273,1	2167,9	2123,7	1963,4	637,6	66,2	188,5	272,1	207,0
38	ADV4681 Ipro	4003	63,6	729,2	207,3	1594,9	1321,2	1338,8	495,1	136,9	81,7	163,8	114,4
38	ADV4681 Ipro	4662	77,7	849,1	222,2	2009,4	1585,6	1461,4	553,0	179,5	110,6	201,8	146,0
38	ADV4681 Ipro	3184	49,9	587,5	154,1	1349,2	1183,7	1040,6	380,2	184,7	85,1	72,5	100,3
39	CZ37B43Ipro	3960	64,8	725,4	212,6	1816,7	1298,5	1389,6	402,5	96,3	124,1	204,1	130,6
39	CZ37B43Ipro	4296	81,0	813,5	240,5	1804,8	1466,1	1523,2	552,8	340,6	149,7	290,0	142,9
39	CZ37B43Ipro	3549	61,3	670,9	193,8	1290,6	1334,2	1359,8	475,4	161,4	120,9	237,9	108,1
40	Desafio RR	4886	84,6	885,1	219,3	2152,4	1656,2	1581,2	668,4	281,7	101,8	176,1	153,1
40	Desafio RR	4465	72,5	853,7	229,0	1908,0	1594,5	1435,6	745,4	170,4	158,1	238,7	147,1
40	Desafio RR	4076	67,0	818,5	211,9	1969,2	1586,1	1323,5	391,4	172,3	108,3	204,4	123,4
40	Desafio RR	3694	63,5	650,4	182,4	1884,8	1399,3	1077,0	395,3	221,9	91,5	193,3	106,7
40	Desafio RR	5119	88,6	988,3	260,7	1896,0	1976,5	1640,8	560,4	226,0	149,2	228,0	162,0
41	Juruena Ipro	3843	70,8	747,6	176,4	1495,2	1562,1	1339,0	633,1	372,9	112,2	160,5	117,0
41	Juruena Ipro	4987	90,1	937,4	239,0	1813,5	1874,9	1756,0	667,2	292,5	122,5	222,7	141,1
41	Juruena Ipro	3142	54,1	543,6	144,1	1241,8	1203,7	1090,9	426,0	208,2	70,0	105,1	79,3

Tabela 5b- Estatísticas descritivas da Produtividade de Matéria Seca de Grãos e da Respectiva Eficiência de Utilização de Nutrientes em Cultivares Atuais de Soja Estudados neste Trabalho

	Mat.Seca grãos kg/há	EUN	EUP	EUK kg ² /g	EUCa	EUMg	EUS	EUCu	EUFe	EUZn kg ² /mg	EUMn	EUB
Média	4196	70,1	806,4	225,0	1781,5	1566,8	1414,3	494,6	132,7	138,0	201,4	130,1
Desvio-padrão	454	8,4	114,1	28,2	286,7	217,9	190,7	88,1	72,9	26,4	35,5	20,9
CV(%)	10,8	12,0	14,1	12,5	16,1	13,9	13,5	17,8	54,9	19,1	17,6	16,0
Menor valor	3142	49,9	543,6	144,1	1239,5	1183,7	1040,6	318,0	14,3	70,0	72,5	79,3
1o Quartil	3953	64,6	731,1	212,2	1586,3	1400,2	1319,0	430,8	91,4	124,7	183,7	116,2
2o Quartil	4202	69,0	802,1	223,5	1807,2	1571,5	1398,9	478,8	114,3	137,4	202,1	129,9
3o Quartil	4455	75,6	867,7	242,3	1968,1	1705,2	1498,4	552,9	161,4	156,4	216,5	141,2
Maior Valor	5203	90,1	1061,9	281,3	2549,5	2123,7	1963,4	745,4	372,9	188,5	290,0	207,0

Em relação à análise por componentes principais (ACP) da eficiência de utilização compartimentalizada de nutrientes nos grãos, foi obtido modelo multivariado integrado por apenas dois componentes principais (CP1 e CP2), com variância explicada acumulada de 77,5% (66,4% no CP1 e 11,1% no CP2). Dos 11 nutrientes minerais estudados, apenas a eficiência de utilização de Ca (EUCa) não integra o modelo multivariado obtido (Tabela 6). A dispersão das variáveis (as EU) e das cultivares nos CP pode ser vista nas figuras 7 e 8, e a contribuição das variáveis e das cultivares nos CP e no modelo multivariado é mostrada nas figuras 9 e 10.

Na tabela 6, vê-se que apenas a EUFe foi significativa no CP2, sendo as EU de todos os demais nutrientes do modelo significativas no CP1, o que explica a dispersão das variáveis no gráfico da figura 7, em que setas maiores num mesmo CP indicam maior coeficiente de correlação da variável com o CP, como também explica a elevada contribuição das variáveis no CP1 e no modelo multivariado como um todo (figura 8)

Na figura 9, vê-se que as cultivares 37, 17, 4, 15 e 26 são as mais distintas quanto à eficiência de utilização compartimentalizada de nutrientes nos grãos, sendo que as cultivares 37 e 17 têm as maiores contribuições relativas para o CP1, e as cultivares 26,15 e 4 contribuíram mais para o CP2. Como o CP1 integra as EU de todos os nutrientes do modelo multivariado, exceto Fe e Ca, isso mostra que as cultivares 37 e 17 relacionam-se às EU de grande número de nutrientes, ao passo que as cultivares 25,15 e 4 relacionam-se à EUFe, apenas.

Tabela 6 – Coeficientes de carga das variáveis nos Componentes Principais (“loadings”) do modelo multivariado da eficiência de utilização compartimentalizada de nutrientes em grãos das cultivares atuais de soja utilizadas neste trabalho, autovalores e variância explicada

Variável	CP1	CP2
EUN	-0,896788	-0,014346
EUP	-0,903416	-0,003773
EUK	-0,872229	-0,194769
EUMg	-0,829903	-0,004567
EUS	-0,927230	-0,050181
EUCu	-0,829768	0,288384
EUFe	0,035638	0,969053
EUZn	-0,850816	0,177139
EUMn	-0,827698	-0,115426
EUB	-0,782116	-0,029990
AutoValor	6,640129	1,108524
Variância Explicada (% do total)	66,4	11,1
Variância Explicada Acumulada (% do total)	66,4	77,5

Figura 7 – Gráfico de Dispersão das Variáveis nos Componentes Principais do Modelo Multivariado da Eficiência de Utilização Compartimentalizada de Nutrientes nos Grãos das Cultivares atuais de Soja

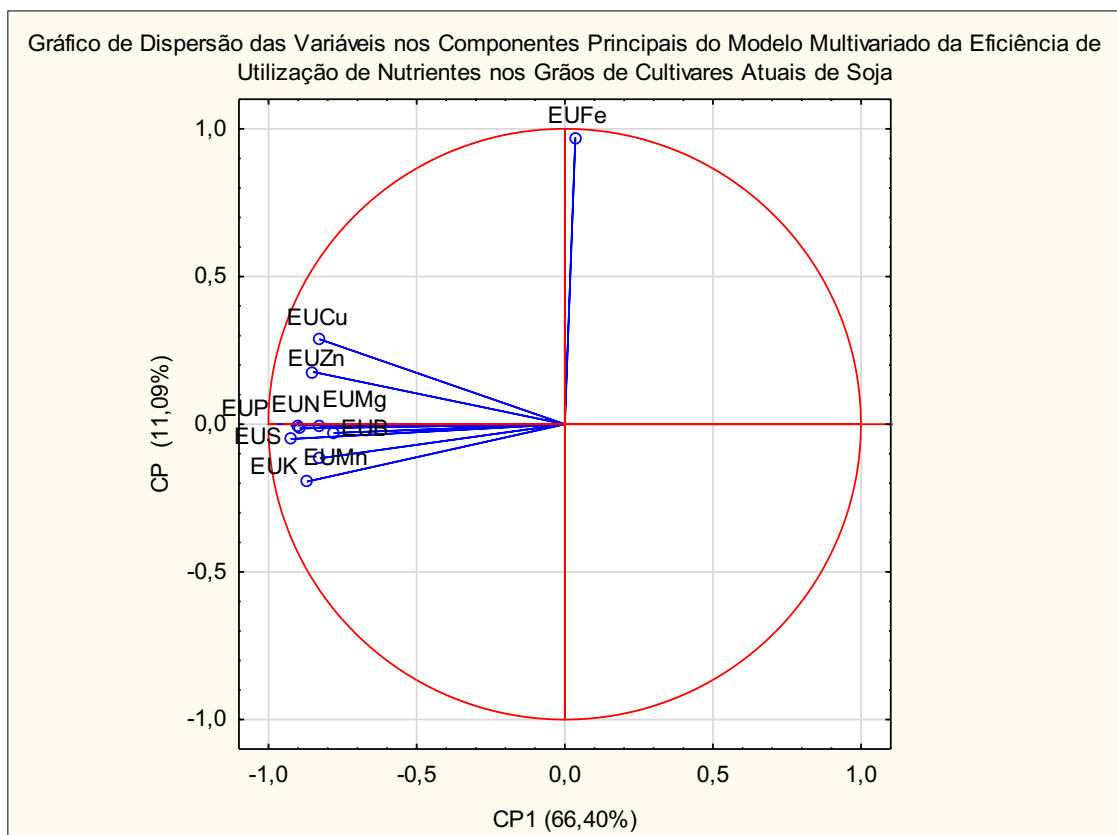


Figura 8 - Contribuição (%) das Variáveis no Componente Principal 1 (CP1) e no Modelo Multivariado da Eficiência de Utilização de Nutrientes nos Grãos das Cultivares Atuais de Soja Estudadas

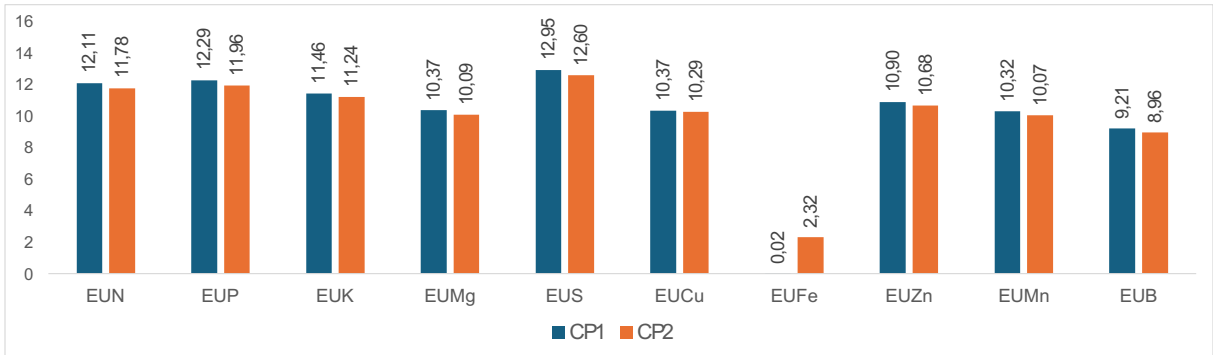


Figura 9 - Gráfico de Dispersão das Cultivares Atuais de Soja Estudadas nos Componentes Principais do Modelo Multivariado da Eficiência de Utilização de Nutrientes nos Grãos

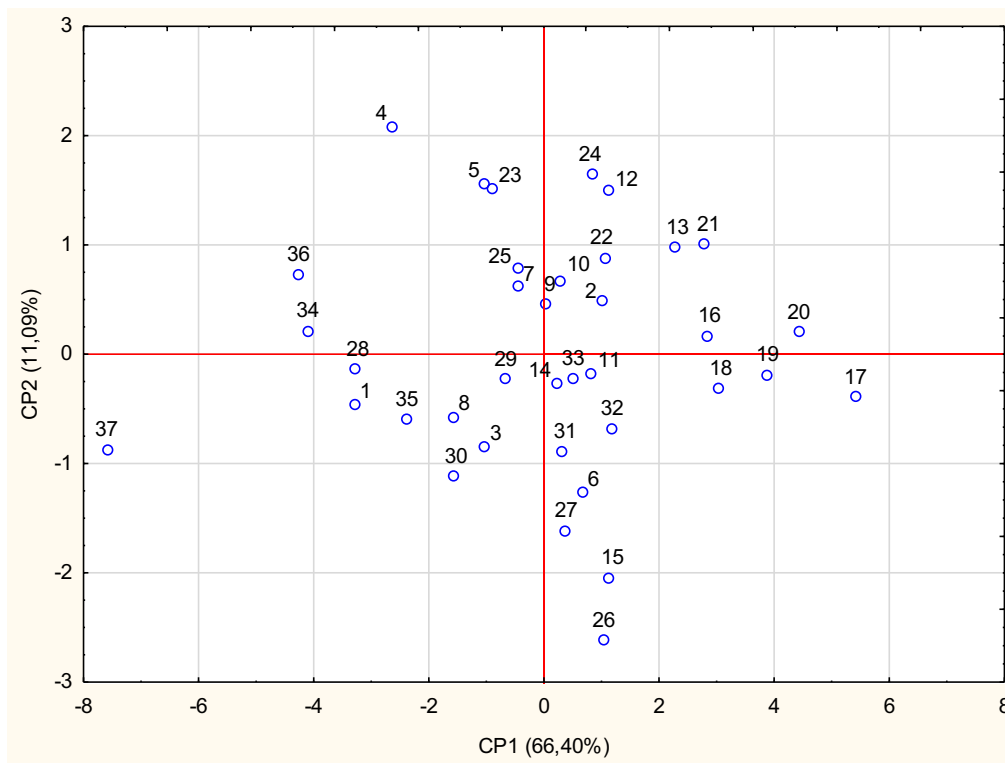
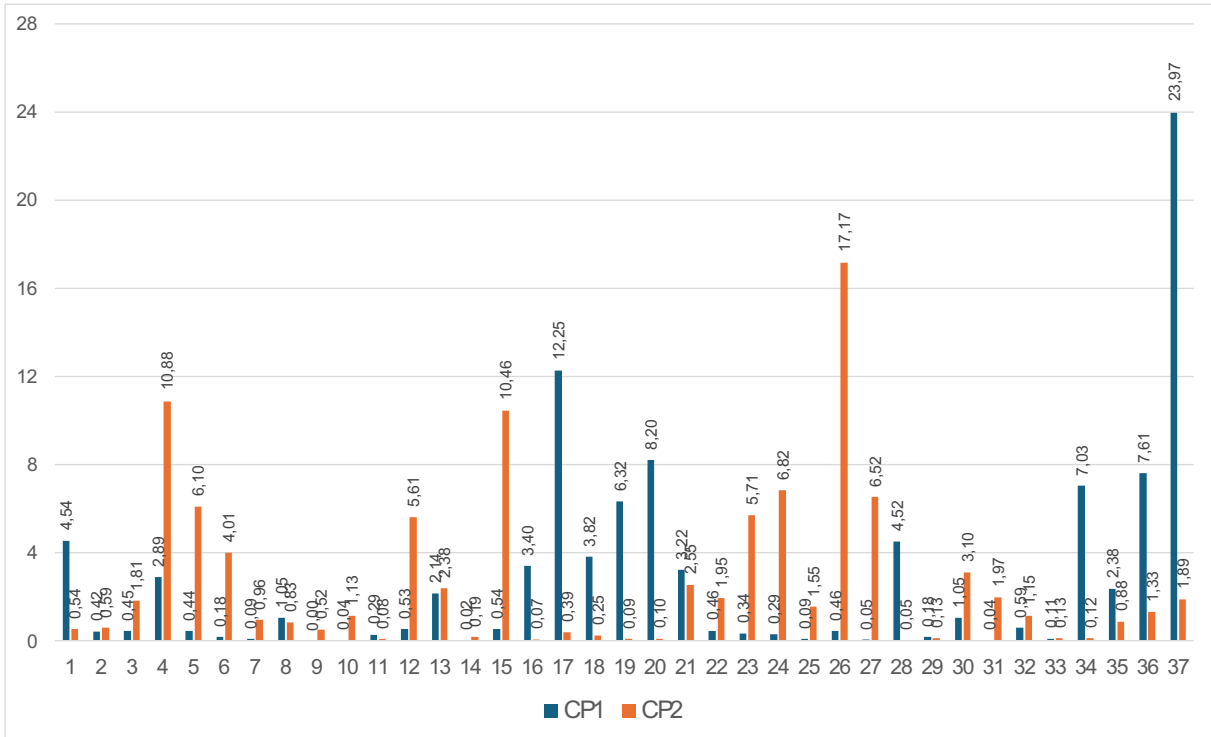


Figura 10 - Contribuição (%) das Cultivares Atuais de Soja nos Componentes Principais do Modelo Multivariado da Eficiência de Utilização de Nutrientes nos Grãos



A tabela 7 apresenta a análise de correlação dos teores de macro e de micronutrientes no grão e a produtividade das cultivares em estudo. A correlação foi significativa apenas para o P, ao nível de 5 % de probabilidade, com coeficiente de correlação negativo de 0,28. Este resultado indica a possibilidade de se trabalhar com o teor médio dos nutrientes nos grãos, ao invés de se utilizar os teores de nutrientes por faixas de produtividade.

Segundo Rigo (2016) em estudo do teor de nutrientes e da qualidade fisiológica de sementes de soja foi verificado que os teores de micronutrientes nas sementes variam entre as cultivares, sendo que o boro apresenta valores entre 16,55 e 35,47 mg kg⁻¹, o cobre entre 8,59 e 15,33 mg kg⁻¹, o manganês entre 25,18 e 33,33 mg kg⁻¹, o zinco entre 36,68 e 50,33 mg kg⁻¹. Sendo que o teor de ferro não varia entre as cultivares apresentando valor médio de 97,83 mg kg⁻¹.

Tabela 7 – Análise de correlação entre o teor do nutriente no grão e a produtividade

Nutriente	Coefficiente de correlação	p-valor
N	-0,0489	0,733 ^{ns}
P	-0,2869	0,041 [*]
K	-0,0149	0,917 ^{ns}
Ca	0,1021	0,476 ^{ns}
Mg	-0,0271	0,850 ^{ns}
S	-0,1811	0,203 ^{ns}
Cu	-0,1006	0,483 ^{ns}
Fe	0,0524	0,715 ^{ns}
Zn	-0,0643	0,654 ^{ns}
Mn	-0,2485	0,079 ^{ns}
B	-0,2012	0,157 ^{ns}

* significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo ($p > 0,05$).

3.4. Comparações de teores médios das cultivares atuais com as “antigas”

A tabela 7 apresenta os teores médio de macro e micronutrientes obtidos nos trabalhos de Santos et al. (2008) e Kurihara et al. (2013), além dos obtidos no presente estudo. Santos et al. (2008) obtiveram os teores médios de nutrientes nos grãos com base em revisão bibliográfica. Já Kurihara et al. (2013) determinaram os teores em grãos colhidos de lavouras comerciais sob sistema de plantio direto no Estado do Mato Grosso do Sul e desenvolveram modelos para estimação destes teores. Para as comparações, adotou-se o nível de 5 % de probabilidade.

Comparando os teores obtidos por Santos et al. (2008) com aqueles obtidos no presente trabalho, observa-se diferença significativa para todos os macronutrientes e para o B. Quando estes mesmos teores foram contrapostos com os teores médios obtidos por Kurihara et al. (2013), houve diferença para P, K, Mg, S, Zn e B. Tomando por base os modelos de Kurihara et al. (2013) e aplicando-os aos 65 registros de lavouras comerciais de soja, foram obtidos os teores que, comparados com os do presente trabalho, diferem significativamente para todos os macronutrientes e para os micronutrientes Cu, Zn e Mn.

A comparação mais adequada é a dos teores obtidos no presente trabalho com os teores médios de Kurihara et al. (2013) pois ambos os conjuntos de dados foram determinados por métodos laboratoriais. O contraste entre os dois conjuntos de dados revela que as cultivares atuais exportam menor quantidade de micronutrientes nos

grãos, com exceção do B, e também macronutrientes, com exceção do K e Mg (Tabela 6). Em relação aos modelos desenvolvidos por Kurihara et al. (2013), é possível observar que estes superestimam o acúmulo de micronutrientes nos grãos, excetuando o B. Quanto aos macronutrientes, os valores são superestimados para N, Ca e Mg (Tabela 7).

Tabela 7 – Comparações de teores médios das cultivares atuais de soja estudadas neste trabalho com os de cultivares “antigas”, pelo teste t

Nutriente	Unid.	Santos et al. (2008) (A)	Kurihara et al. (2013) ¹ (B)	Kurihara et al. (2013) ² (C)	Araújo (2023) ³ (D)	D vs A	D vs B	D vs C
N	g kg ⁻¹	67,57	61,35	80,16	59,94	0,0283	0,3915	0,0000
P	g kg ⁻¹	4,02	5,89	4,58	5,23	0,0000	0,0000	0,0000
K	g kg ⁻¹	19,84	13,76	16,70	18,74	0,0090	0,0001	0,0000
Ca	g kg ⁻¹	3,12	2,44	3,05	2,39	0,0000	0,0575	0,0000
Mg	g kg ⁻¹	2,82	1,69	3,39	2,70	0,0000	0,0000	0,0000
S	g kg ⁻¹	2,00	6,46	-	2,98	0,0000	0,0000	-
Cu	mg kg ⁻¹	53,19	26,96	52,63	8,63	0,3551	0,1914	0,0046
Fe	mg kg ⁻¹	149,25	77,57	196,17	44,67	0,7371	0,9222	0,6128
Zn	mg kg ⁻¹	53,19	63,32	79,14	31,28	0,2070	0,0440	0,0000
Mn	mg kg ⁻¹	30,77	26,96	43,36	21,41	0,0616	0,1820	0,0000
B	mg kg ⁻¹	22,57	25,82	32,15	32,58	0,0074	0,0028	0,3728

¹Teor médio; ²Modelo; ³Teor médio determinado no presente trabalho.

3.5. Exportação de nutrientes nos grãos de soja: Kurihara et al. (2013) e Araujo (2023)

A tabela 8 apresenta a exportação de nutrientes pelos grãos de soja obtidos a partir dos teores médios de Santos et al. (2008), teores médios e modelados de Kurihara et al. (2013) e os teores médios do presente trabalho. Estes foram aplicados aos dados de produtividade de 65 lavouras comerciais de soja.

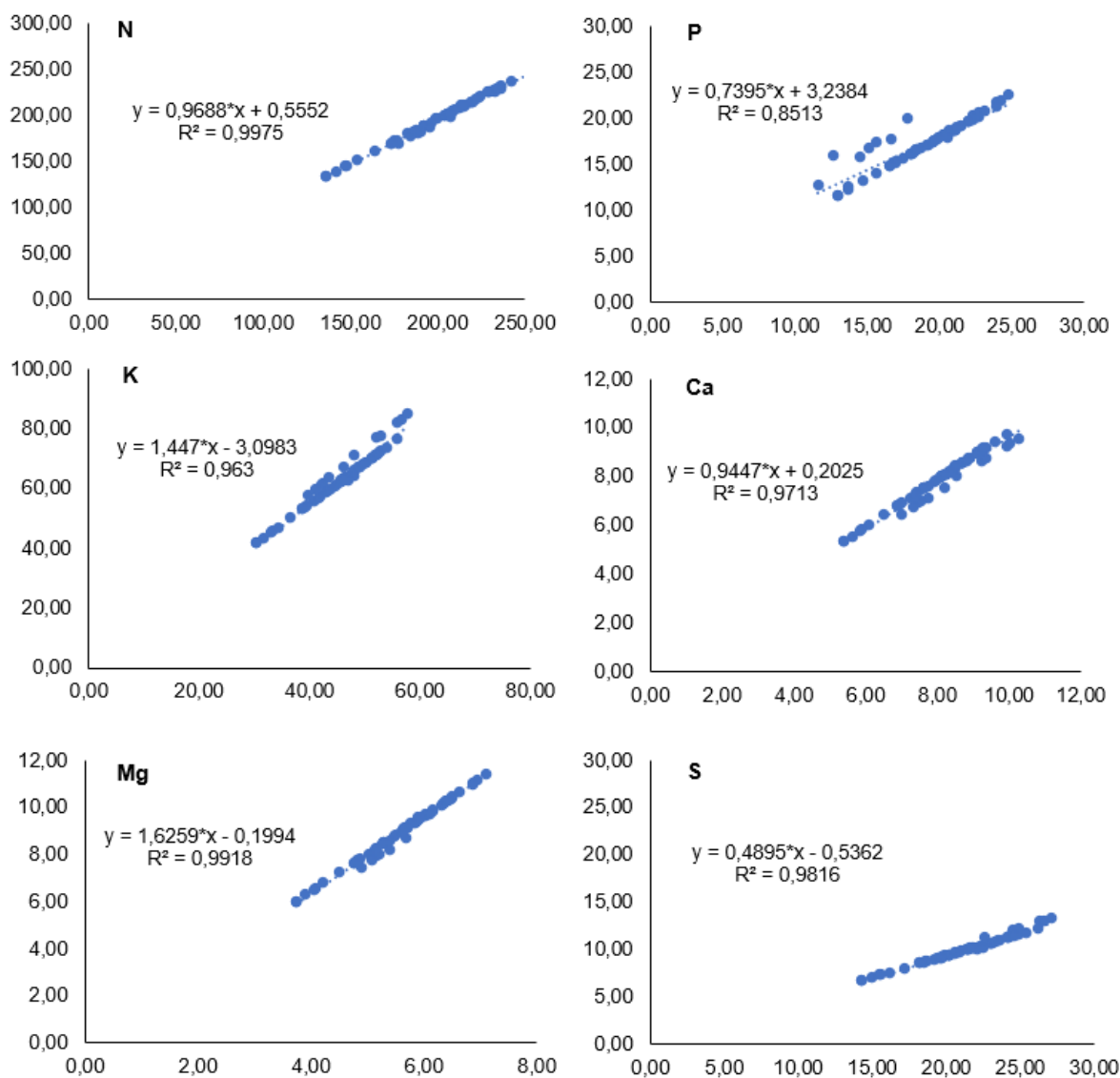
Tabela 8 – Exportação média de nutrientes nos grãos de soja

Nutriente	Unidade	Santos et al. (2008)	Kurihara et al. (2013) ¹	Kurihara et al. (2013) ²	Araujo (2023) ³
N	kg/ha	224,43	204,26	264,90	198,44
P	kg/ha	13,35	19,15	14,82	17,40
K	kg/ha	65,90	45,70	55,26	63,03
Ca	kg/ha	10,36	8,10	10,01	7,86
Mg	kg/ha	9,37	5,61	11,09	8,93
S	kg/ha	6,64	21,46	-	9,97
Cu	g/ha	176,67	89,55	102,07	58,97
Fe	g/ha	495,72	257,64	634,36	136,14
Zn	g/ha	176,67	210,31	259,14	105,41
Mn	g/ha	96,97	81,81	140,77	72,71
B	g/ha	79,43	95,05	106,15	114,55

¹Teor médio; ²Modelo; ³Teor médio determinado no presente trabalho.

A figura 11 ilustra a relação entre a quantidade de nutrientes exportada, estimada com base nos teores médios obtidos por Kurihara et al. (2013), X. com aquelas provenientes do teor médio para as cultivares atuais de soja do presente trabalho, Y. O coeficiente angular próximo de 1 indica forte relação entre os dois conjuntos de dados, como pode ser observado para o N, indicando que ambos os valores são semelhantes.

Figura 11 – Relação das quantidades de macronutrientes exportados pelos grãos estimadas conforme os teores médios obtidos por Kurihara et al. (2013), X, e pelos teores médios obtidos neste trabalho, Y . *Significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F



Para P, o coeficiente angular da equação é de 0,7395, indicando fraca correlação entre a exportação de nutrientes estimada com base em Kurihara et al (2013), X, e com base neste trabalho, X, evidenciando a capacidade das cultivares atuais em acumular menor quantidade desse nutriente nos grãos. O P é um nutriente importante para a nodulação e fixação do nitrogênio atmosférico. Em condições de solo altamente intemperizados de regiões tropicais úmidas, a disponibilidade de fósforo para as plantas é pequena, devido a fixação por reações de adsorção e

precipitação por Al e Fe. tornando indispensável a adição de P ao solo, para a obtenção de altas produtividades (EMBRAPA, 2004).

Amorim (2022) trabalhando com doses crescentes de fósforo na cultura da soja em condições de cerrado, observou que com o aumento nas doses de P houve aumento da concentração desse nutriente no solo. Em área com teores de fósforo corrigido, houve acréscimo no teor de fósforo no solo na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅, alcançando o teor de fósforo no solo de 21,7 mg dm⁻³, favorecendo assim a disponibilidade deste nutriente para as plantas (AMORIM, 2022).

Para K, o coeficiente de determinação foi de 0,963, ou seja, a exportação estimada com base no teor médio de Kurihara et al. (2013) se correlaciona significativamente ao nível de 5 % dos valores estimados com base nos teores de K nos grãos verificados no presente trabalho. Contudo, em termos médios, comparando ambos os trabalhos, percebe-se que as cultivares atuais exportam maior quantidade de K nos grãos do que as cultivares antigas, cultivadas na década de 1990 e no início dos anos 2000. Júnior et al. (2015) trabalhando com a avaliação da produtividade da soja em função de diferentes doses de K, concluíram que a máxima produtividade de soja foi alcançada com adubação de 90 kg ha⁻¹ de K₂O, embora as diferentes doses não tenham alterado significativamente o peso de 1000 grãos.

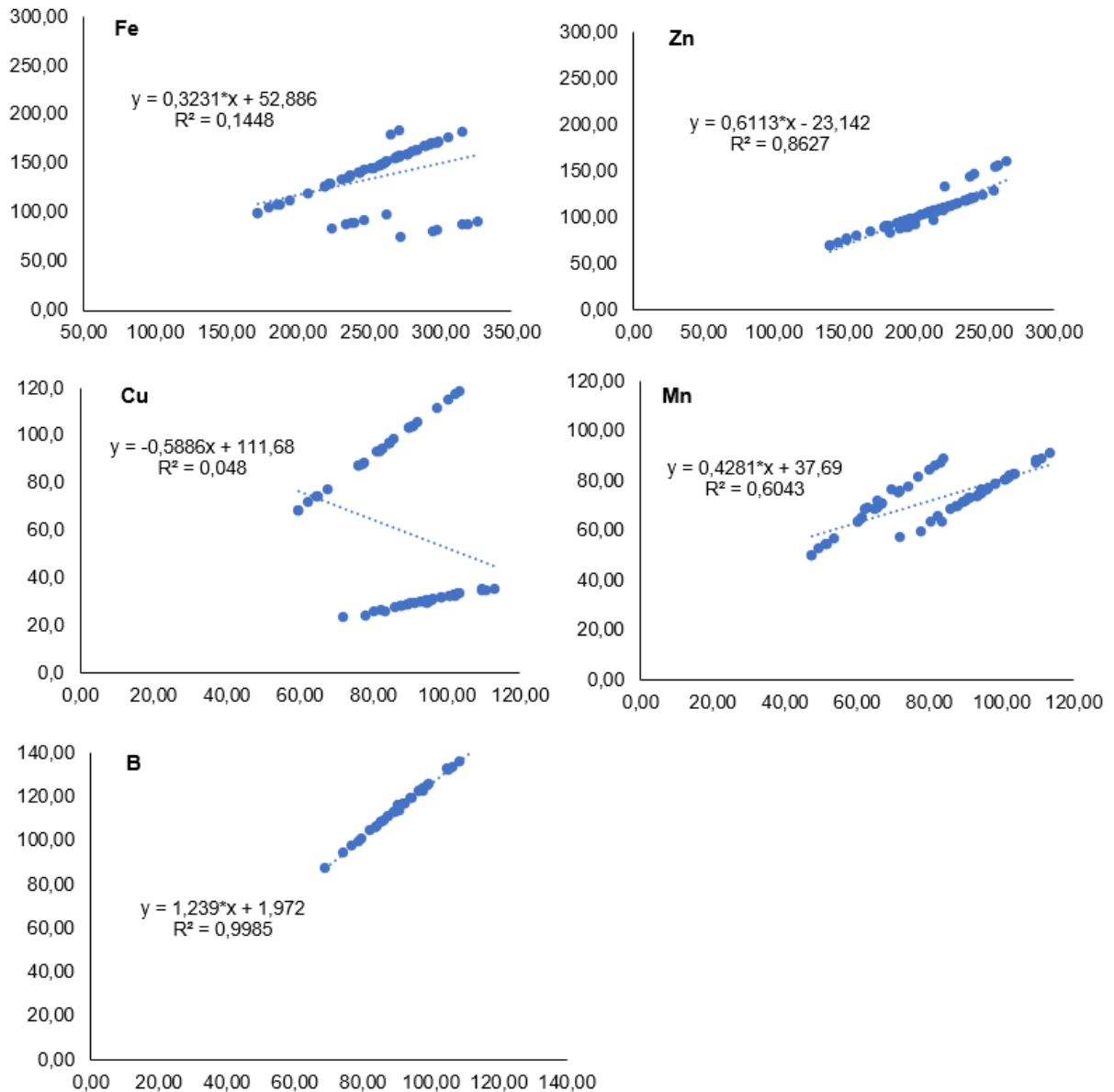
De forma semelhante, para Ca, há associação linear entre a exportação deste nutriente pelos grãos entre as cultivares antigas e as atuais, utilizadas no trabalho de Kurihara et al (2013), e o coeficiente angular (0,9447) muito próximo de 1, indica que as estimativas de exportação desse nutriente são muito próximas.

Para o Mg, não obstante a correlação significativa, a exportação estimada com base no teor médio de Kurihara et al. (2013) difere significativamente da exportação estimada com base neste trabalho, sendo que as quantidades estimadas com base no teor obtido no presente trabalho (em Y) é muito superior (+ 62,59% em média) aos obtidos por Kurihara et al. (2013), indicando que as cultivares atuais exportam maior quantidade de Mg nos grãos do que as cultivares antigas.

Com relação ao S, os teores estimados no presente trabalho são inferiores aos de Kurihara et al. (2013), indicando que as cultivares comumente plantadas na atualidade são capazes de acumular e exportar menor quantidade de S em comparação com as cultivares antigas, como aquelas utilizadas por Kurihara et al (2013

Quanto aos micronutrientes, apenas para B e Zn, a correlação entre a exportação estimada com base no teor médio das cultivares atuais e o das cultivares antigas é elevada, mas as cultivares atuais exportam maiores quantidades de B do que as utilizadas por Kurihara et al (2013), como indicado pelo coeficiente angular bem superior a 1,0, e exportam menores quantidades de Zn. Para Mn, apesar de haver associação linear entre a exportação estimada para as cultivares atuais e as de Kurihara (2013), tal associação é mais fraca do que as verificadas para B e para Zn, o que pode ser atribuído a se ter, como mostrado na figura 12, duas populações de pontos, como também observado para Fe e para Cu, ambos esses dois nutrientes para os quais as correlações são muito fracas ou inexistente.

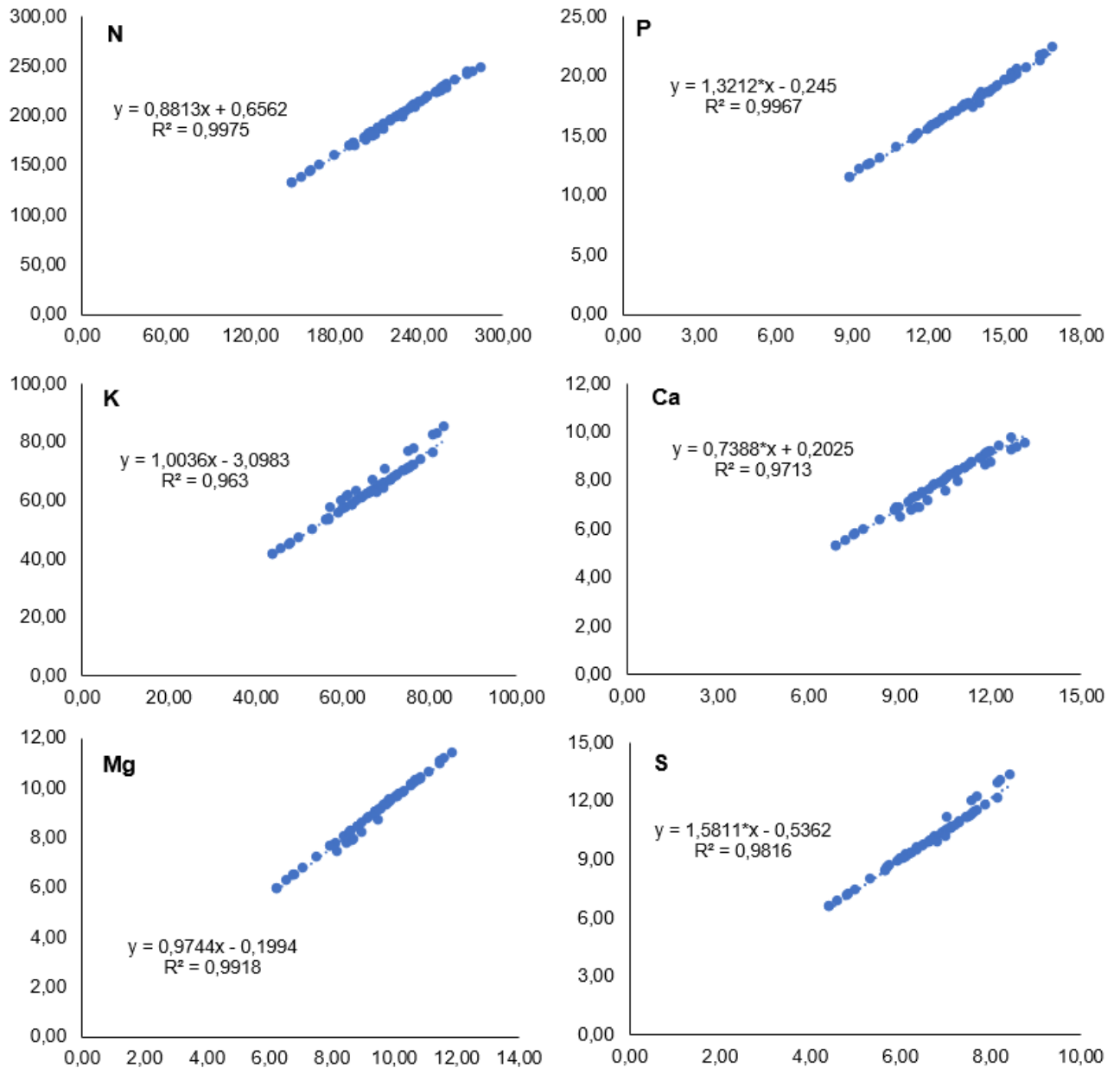
Figura 12 – Relação das quantidades de micronutrientes exportados pelos grãos estimadas com base nos teores médios obtidos por Kurihara et al. (2013), X, e pelos teores médios obtidos no presente trabalho, Y. *Significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F



3.6. Exportação de nutrientes nos grãos de soja: Santos et al. (2008) e Araujo (2023)

A figura 13 apresenta a relação entre quantidades de nutrientes exportadas com base nos teores médios de macronutrientes nos grãos constantes de Santos et al. (2008) e pelos teores médios obtidos no presente trabalho para cultivares atuais de soja.

Figura 13 – Relação das quantidades de macronutrientes exportados pelos grãos estimadas com base nos teores médios obtidos por Santos et al. (2008), X, e pelos teores médios obtidos no presente trabalho, Y. *Significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F



Para o N, não houve diferença estatisticamente significativa as quantidades exportadas com base nos teores médios de Santos et al. (2008) e conforme Araújo (2023), indicando que as cultivares antigas e atuais exportam nos grãos quantidade semelhante deste nutriente em função da produtividade de grãos. De todo modo, o

coeficiente angular numericamente é menor do que 1,0, evidenciando que para uma mesma produtividade de grãos a exportação de N tende a ser menor nas cultivares atuais, o que pode estar relacionado à maior eficiência da fixação biológica de N (FBN) nos sistemas de cultivos atuais, onde a adubação nitrogenada é em geral omitida e a fonte majoritária de N se torna a FBN. Já para P, o coeficiente angular difere estatisticamente de 1,0, indicando que a exportação das cultivares atuais é maior, sendo de 17,40 kg ha⁻¹, ao passo que as cultivares antigas exportavam em média 13,35 kg ha⁻¹, como se vê na tabela 8.

Quanto à exportação de K, os valores estimados com base em Santos et al (2008) e conforme obtido para as cultivares atuais neste trabalho são semelhantes, ou seja, cultivares antigas e atuais exportam em média as mesmas quantidades de K em função da produtividade de grãos. Em termos médios, a exportação estimada com base em Santos et al. (2008) é de 65,90 kg ha⁻¹, enquanto que com base nos teores do presente trabalho é de 63,03 kg ha⁻¹ (Tabela 8). O mesmo acontece para o Mg, em que as quantidades exportadas nos grãos não diferem estatisticamente entre os dois conjuntos de dados. Em média, a exportação de Mg estimada com base nos teores médios de Santos et al. (2008) é de 9,37 kg ha⁻¹, ao passo que no presente trabalho o teor estimado é de 8,93 kg ha⁻¹ (Tabela 8)

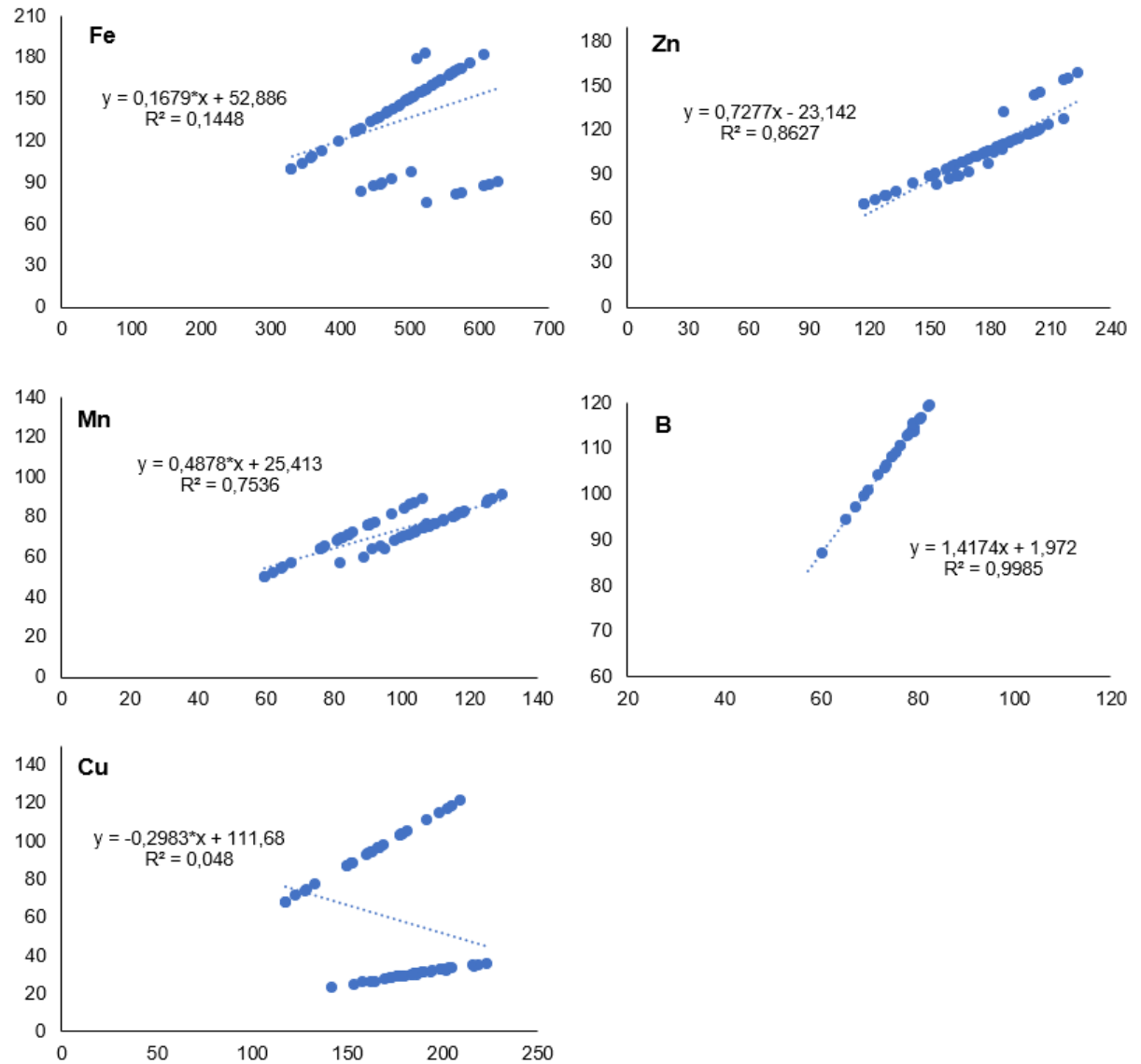
Para Ca e S, há diferença estatisticamente significativa entre as quantidades exportáveis conforme Santos et al (2008) e conforme este trabalho, como indicado pelos coeficientes angulares diferentes de 1,0, menor do que 1,0 para Ca e maior do que 1,0 para S. Em relação ao Ca, as cultivares atuais exportam menor quantidade nos grãos, sendo em média de 7,86 kg ha⁻¹, em comparação com as cultivares antigas que exportam em média 10,36 kg ha⁻¹ (Tabela 8). Já para S, ocorre o contrário, as cultivares atuais exportam em média maior quantidade (9,97 kg ha⁻¹) comparativamente às cultivares antigas (6,64 kg ha⁻¹) com base em Santos et al. (2008).

Neto et al. (2021) trabalhando com diversos grupos de maturação relativa (GMR) para a cultura da soja, comprovou que na introdução de novas variedades de soja resultou em maior remoção de N, P, K e Mg em relação às variedades antigas de soja, sugerindo que esses nutrientes podem influenciar significativamente o rendimento, e o uso de manejo específico de campo pode ser necessário para atingir a exigência nutricional. Contudo, no presente trabalho, em relação aos macronutrientes, maiores quantidades exportáveis em função da produtividade foram

verificadas apenas para P e S, na comparação com Santos et al (2008) e para K e Mg na comparação com Kurihara et al (2013).

Em relação aos micronutrientes, para Fe, Mn e Cu, as quantidades exportáveis em função da produtividade de grãos estimadas com base no teor médio de Santos et al. (2008) diferem estatisticamente daquelas estimadas com base nos teores médios verificados no presente trabalho (Figura 14), como indicado pelos coeficientes angulares menores do que 1,0 nas equações respectivas, ou, como verificado para Zn, tende a ser menor. Para esses micronutrientes, a exportação média pelos grãos nas cultivares atuais é menor (Tabela 8). Já para o B, a exportação é maior para as cultivares atuais, sendo nestas últimas em média de 105,41 g ha⁻¹ de Zn e 114,55 g ha⁻¹ de B (Tabela 8).

Figura 14 – Relação das quantidades de micronutrientes exportáveis pelos grãos com base nos teores médios de Santos et al. (2008), X, e pelos verificados no presente trabalho, Y. *Significativo ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste F



4. CONCLUSÕES

Não há correlação entre os teores de macro e micronutrientes nos grãos e a produtividade das cultivares atuais de soja, exceto para fósforo (P).

Há diferenças entre as cultivares atuais e as anteriormente utilizadas (“antigas”) em relação aos teores médios de nutrientes minerais nos grãos, sendo o sentido e a magnitude da diferença variáveis conforme o nutriente e a fonte bibliográfica, com reflexos nas estimativas de quantidades exportáveis de nutrientes em função das produtividades de grãos de soja.

Os resultados deste trabalho contribuem para a atualização do módulo planta (módulo Requerimento) dos modelos de balanço nutricional para a recomendação de fertilizantes para a cultura da soja.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, P. H. T. Adubação de doses de fósforo na cultura da soja em condições de cerrado. 2022. 39p. Trabalho de Curso (Curso de Bacharel em Agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2022.
- BORIN, A. L. D. C; FERREIRA, A. C. B; GUIMARÃES, D. C; FILHO, J. L. S; BRITO, G. G. Absorção, acúmulo e exportação de cálcio, magnésio e enxofre pelo algodoeiro: comportamento no solo e na planta. Congresso Brasileiro do Algodão, 12., 2019, Goiânia - Abrapa, 2019.
- CARNEIRO, S. H. Sensibilidade das análises foliar e de solo ao acúmulo de nutrientes em plantas de soja com distintas produtividades de grãos. Universidade Federal de Viçosa – UFV, Dissertação de Mestrado, 2022, 115p.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Levantamento de Safra 2022/23. Disponível em: www.conab.gov.br. Acesso em 16 de outubro 2023.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2008. Documento 305. Soja Brasil: Calagem, adubação e nutrição mineral Londrina, Embrapa – Soja. p 19.
- EMBRAPA. Embrapa Amazônia Oriental (Belém, PA). Absorção e exportação de fósforo em três cultivares de soja. Belém - PA, 2004. 127p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 26).
- FILHO, V. M. F; VIERO, R. M; VOSTA, D. R; PEREIRA, A. S. B; FONSECA, D. A. R. Peso de Mil Grãos de Soja em Diferentes Graus de Maturação Relativa Com Duas Épocas de Semeadura. Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). 14º SIEPE – Salão Internacional de ensino, pesquisa e extensão. Evento virtual, 2022.
- JÚNIOR, N. J. M; FABER, J; GALLO, J; JUNIOR, R. C. O; SILVA, A. D; OLIVEIRA, D. R. Avaliação da produtividade da soja em diferentes doses de potássio na região de Belterra/PA(1). Congresso Brasileiro de Ciência dos Solos. Disponível em: <https://eventosolos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/747.pdf>. Acesso em 05 de dezembro 2023.
- KURIHARA, C. H; VENEGAS, V. H. A; NEVES, J. C. L; NOVAIS, R. F. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em soja, como variável do potencial produtivo. Revista Ceres, Viçosa - MG, v. 60, n.5, p. 690-698, setembro/outubro, 2013.
- LIMA, R. O. Sustentabilidade da produção de soja no brasil central: características químicas do solo e balanço de nutrientes no sistema solo-planta. Universidade Federal de Viçosa – UFV, Dissertação de Mestrado, 2004, 77p.
- NETO, M. E; LARA, L. M; OLIVEIRA, S. M; SANTOS, R. F; BRACCINI, A. L; INOUE, T. T; BATISTA, M. A. Nutrient Removal by Grain in Modern Soybean Varieties.

Revista Frontiers in Plant, Lausana/Suíça, v. 12, doi: 10.3389/fpls.2021.615019, p. 1-14, junho, 2021.

RIGO, G. A. Teor de nutrientes e qualidade fisiológica de sementes de soja. Universidade Federal de Pelotas – UFPEL, Dissertação de Mestrado, 2016, 45 p.

SANTOS, F. C; NEVES, J. C. L; NOVAIS, R. F; VENEGAS, V. H. A; SEDIYAMA, C. S. Modelagem da Recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da soja. Revista Brasileira de Ciência dos Solos, v. 32, p. 1661-1674, 2008.

SIDDIQUI, M.Y. e GLASS, A.D.M. (1981) Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. Journal of Plant Nutrition, 4:289-302.

SEAPA. Secretária de Estado e agricultura, Pecuária e Abastecimento. Subsecretária de Política e Economia Agropecuária. Boletim da Soja. Disponível em: [http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/perfil_soja_outubro_2022\[1\].pdf](http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/perfil_soja_outubro_2022[1].pdf). Acesso em dezembro 2021.

USDA. Departamento de Agricultura dos Estados Unidos: Oferta e demanda mundial, projeções de safras, produtividade por culturas, exportação e importação 2022. Disponível em: www.fas.usda.gov. Acesso em 04 fevereiro 2023.