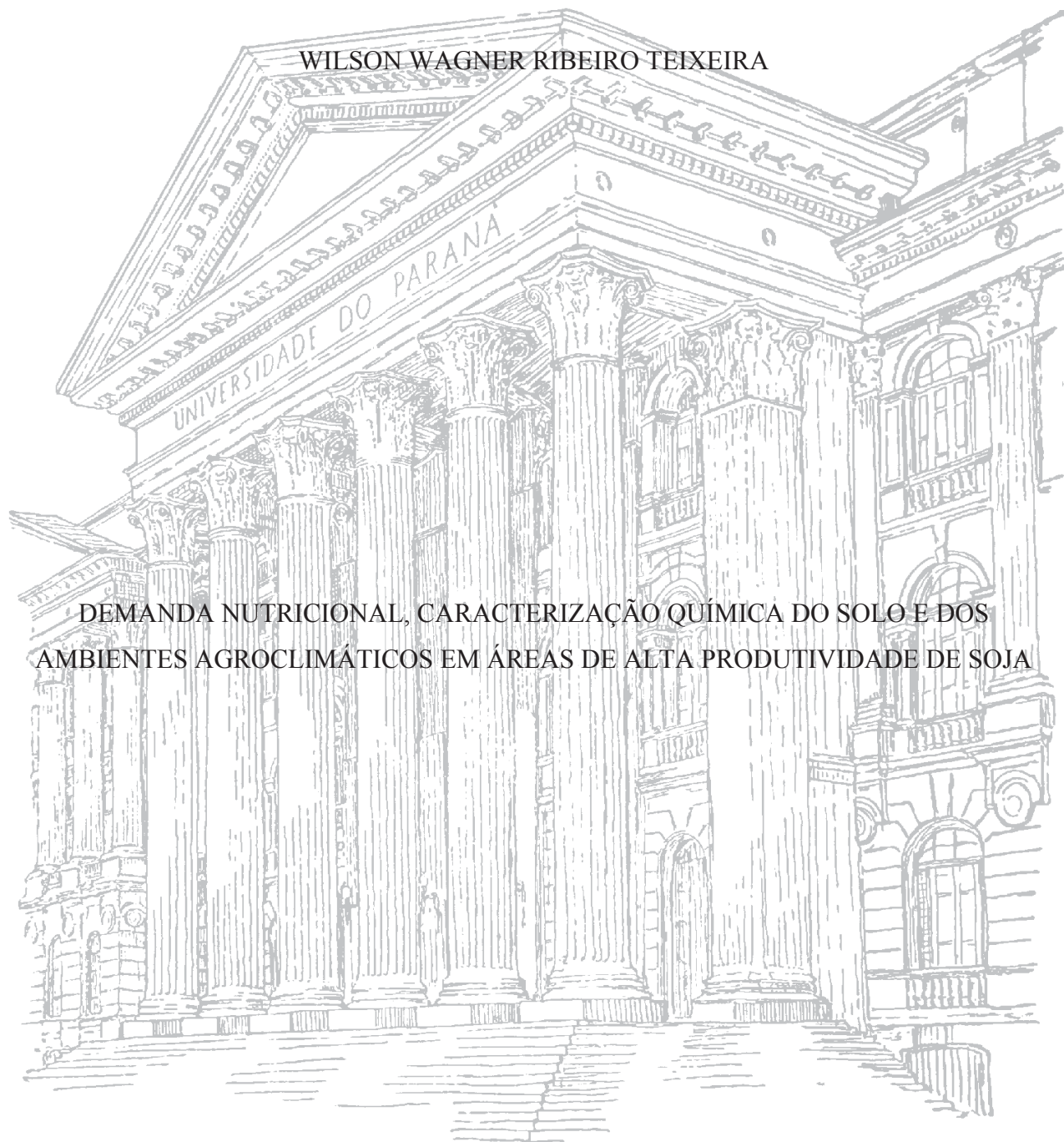


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

WILSON WAGNER RIBEIRO TEIXEIRA



DEMANDA NUTRICIONAL, CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO E DOS
AMBIENTES AGROCLIMÁTICOS EM ÁREAS DE ALTA PRODUTIVIDADE DE SOJA

CURITIBA

2017

WILSON WAGNER RIBEIRO TEIXEIRA

DEMANDA NUTRICIONAL, CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO E DOS
AMBIENTES AGROCLIMÁTICOS EM ÁREAS DE ALTA PRODUTIVIDADE DE SOJA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Qualidade e Sustentabilidade Ambiental, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Milton Ferreira de Moraes
Co-orientador: Dr. Adilson Junior de Oliveira
Co-orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti
Co-orientador: Dr. Daniel Renato Lammel

CURITIBA

2017

Teixeira, Wilson Wagner Ribeiro
Demanda nutricional, caracterização química do solo e dos ambientes
agroclimáticos em áreas de alta produtividade de soja / Wilson Wagner
Ribeiro Teixeira. - Curitiba, 2017.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências
Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo.
Orientador: Milton Ferreira de Moraes.

Coorientadores: Adilson Junior de Oliveira; Volnei Pauletti; Daniel
Renato Lammel.

1. Soja - Nutrição. 2. Solos - Microbiologia. 3. Solos - Absorção e adsorção.
4. Meteorologia agrícola. I. Moraes, Milton Ferreira. II. Oliveira, Adilson
Junior. III. Pauletti, Volnei. IV. Lammel, Daniel Renato. V. Título. VI.
Universidade Federal do Paraná.



PARECER

A Banca Examinadora designada para avaliar a defesa da Tese de Doutorado de **Wilson Wagner Ribeiro Teixeira** intitulada: "**Demanda nutricional, caracterização química do solo e dos ambientes agroclimáticos em áreas de alta produtividade de soja**", do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após análise do texto e arguição do candidato, emitem parecer pela "**APROVAÇÃO**" da referida Tese. O candidato atende assim um dos requisitos para a obtenção do título de **Doutor em Ciência do Solo - Área de Concentração Solo e Ambiente**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 22 de fevereiro de 2017.

Prof. Dr. Milton Ferreira de Moraes, Presidente

Prof. Dr. Volnei Pauletti, Iº. Examinador

Dr. Daniel Renato Lammel, IIº. Examinador

Dr. Adilson de Oliveira Junior, IIIº. Examinador

Dr. Renato Marques, IVº. Examinador

A minha mãe Lucia Maria Ribeiro, ao meu pai Jorge de Paulo Teixeira e a minha irmã
Andreia e Vanessa.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de realizar este trabalho e a CAPES pela concessão das bolsas de estudo.

Ao meu orientador de pós-graduação, Prof^o Milton Ferreira de Moraes pela orientação, ajuda no trabalho, pelos ensinamentos e pela amizade.

Aos co-orientadores Daniel Renato Lammel, Volnei Pauletti e Adilson de Oliveira Junior pela orientação, dedicação, compreensão, confiança, amizade e pelos ensinamentos para a minha formação científica, profissional e pessoal.

Aos professores do Programa, principalmente ao Prof. Antônio Carlos Vargas Motta e ao Prof. Renato Marques, pelo conhecimento repassado, exemplos de profissionais, sempre prestativos com palavras de incentivo.

Aos funcionários do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Fabiane, Marla, em especial ao Denise e Roberto, pela gentileza e amizade.

Aos amigos, Rodrigo Ambrósio, Pedro Henrique Riboldi, Pedro Henrique Pacheco Ramos, Daniel Malheiro do Nascimento, João Paulo Kruger Reznick, Giovanni Radel de Vargas, João Augusto L. Pascoalino, Julierme Zimmer Barbosa e Raul Matias Cezar.

E a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para sua conclusão, Muito Obrigado.

*NÃO DESISTA NUNCA, A PERSISTÊNCIA E
A VONTADE DE VENCER LEVA QUALQUER
UM A VITÓRIA.*

(Sócrates)

RESUMO

A soja (*Glycine max* [L.] Merrill) é a mais importante oleaginosa cultivada no mundo e uma das principais cultura agrícolas do Brasil. A produtividade média de soja no Brasil foi de 3.333 kg ha⁻¹ na última safra, o que representa um aumento aproximado de duas vezes desde 1970. Apesar dos incrementos crescente em rendimentos a taxa anual de produção observado entre 1990 e 2015 não atende a demanda estimada para a próxima década (2020 – 2030), portanto é essencial determinar quais são os fatores limitantes da produtividade através de uma melhor compreensão cultivar, suas interações ambientais e as práticas de manejo. Entre os entraves impeditivos ao aumento expressivo das produtividades soja estão o déficit hídrico e a carência de estudos sobre a evolução da demanda de nutrientes por genótipos com alto potencial produtivo. Com base nisso, o principal objetivo deste trabalho é avaliar a demanda nutricional e a caracterização química do solo e dos ambientes agroclimáticas em áreas de alta produtividade de soja.. Esse trabalho encontra-se dividido em três capítulos, sendo que: Primeiro capítulo foi avaliado as taxas de absorção e exportação de nutrientes pela soja em áreas de alto rendimento (> 4.000 kg ha⁻¹) em duas das principais regiões produtoras do mundo, nas regiões Sul (Clima subtropical) e Centro Oeste (Clima tropical) do Brasil. No segundo capítulo foram determinado os atributos do solo de alta produtividade de soja No terceiro capítulo avaliou-se os fatores limitantes produção de soja usando DDSSAT-CSM-CROPGRO – Soja calibrada pelo grupo de maturidade. Os rendimentos de biomassa da parte aérea e grão variaram conforme fazenda e ano, assim como a nutrição das plantas. Os resultados do capítulo 1 conclui-se que áreas com alto rendimento de soja exigem elevados aportes de nutrientes principalmente nos processos de absorção de N, P, K, Zn, Mn, B, Fe e Cu e remoção N, P, K, Mg, B e Mn pelos grãos e conseqüentemente a translocação principalmente do S. No entanto, a concentração e a quantidade nutrientes absorvidos em áreas de alto rendimento de soja não apresentou correlação com os níveis de rendimento, além disso não houve grandes variações nas concentrações de nutrientes na folha diagnose em relação a manuais de interpretação e avaliação do estado nutricional. A soja cultivada nas regiões Sul e Centro Oeste do Brasil têm pequenas diferenças nos padrões de absorção, remoção e nos teores de nutrientes na folha diagnose. No capítulo 2 conclui-se ocorreu a depleção de P, K, Zn e Mn na rizosfera e isso ocorre como consequência da absorção desses nutrientes pelas raízes, porém, os teores C, NO₃⁻, NH₄⁺, Fe e Cu foram superiores no solo rizosférico, mostrando uma acumulo nessa fração, esse fração. Os atributos químicos mostram-se diferentes entre as fazendas e entre as frações, portanto esses resultados irão auxiliar no entendimento da dinâmica de nutrientes no solo e conseqüentemente na adubação da cultura da soja. No terceiro capítulo o modelo DDSSAT-CSM-CROPGRO teve uma bom ajuste ao dados de campo Soja calibrada pelo grupo de maturidade, mostrando uma importante ferramenta para prever a produtividade da soja e determinar os fatores limitantes da produtividade, através do modelo foi possível concluir que as principais limitações da áreas da região Sul e o déficit hídrico e para as fazendas da região foi associada as condições as práticas de manejo.

Palavras chaves: *Glycine max*, nutrição, demanda de nutrientes, efeito rizosférico, absorção de nutrientes, agrometeorologia,.

ABSTRACT

Soybean (*Glycine max* [L.] Merrill) is the most important oilseed crop in the world and one of the main agricultural commodities in Brazil. Soybean production in Brazil was 2,998 kg ha⁻¹ in the last decade, representing an approximate increase of two times since 1970 (CONAB, 2016). This increase is due to genetic improvement, control of weeds, pests and diseases. However, soybean production presents several impediments to the significant increase in yields, such as lack of studies, on the evolution of nutrient demand by high productivity genotypes. To achieve the potential for soy production in each crop and in each crop, it is necessary to maximize the biotic and abiotic factors in each production environment. With increased productivity in recent decades and changes in crop management, they have raised questions about whether current fertilizer recommendations are sufficient to provide biomass and grain production, especially in areas of high productivity. In order to evaluate the productive potential and the nutritional needs of soybeans, the National Challenge of Maximum Soya Productivity was created in Brazil in 2008 by the Soja Brasil Strategic Committee (CESB). The high yields obtained in the last harvest and the absence of recent data on nutrient demand in high income areas raised questions about fertilization recommendations in order to verify whether or not they are sufficient to meet biomass production and nutrient exports With grains. This work is divided into three chapters: (I) In the first chapter, the rates of absorption and export of nutrients by soybean in high yielding areas (> 4000 kg ha⁻¹) were evaluated in two of the main producing regions. The chemical attributes in the rhizospheric and non-rhizospheric soil in three high-yielding areas in the southern region of Brazil. (III) In the third, the performance of three agro-meteorological models was estimated: Model 1 (Loomis & Williams, 1963), Model 2 (Sinclair, 1993) and Model 3 (Doorenbos & Kassam, 1994) West of Brazil. From the data obtained in this work, we conclude that modern soybean cultivars and current management practices require greater absorption, removal and translocation when compared to previous research. However, the amounts of nutrients absorbed in modern crops did not correlate with yield levels. The South and Center-West regions of Brazil have differences in absorption, removal and nutrient patterns in the diagnosis leaf. The agro-meteorological models are an important tool to predict productivity, and model 3 presented better adjustment to the field conditions. The chemical attributes in high yield areas presented differences between the farms and between the rhizotropic and non - rhizospheric fractions.

Key-words: *Glycine max*, nutrition, nutrient demand, rhizospheric effect, nutrient absorption, agrometeorology

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – OS ENSAIOS FORAM CONDUZIDOS EM FAZENDAS COMERCIAIS EM CASTRO, MAMBORÊ, MONTIVIDIU E PRIMAVERA DO LESTE DURANTE AS SAFRAS 2013/2014, 2014/2015 E 2015/2016 OS VALORES NA LEGENDA REPRESENTAM A PARTE DECIMAL DE UM PIXEL CULTIVADO COM SOJA. ADAPTADO DO IBGE (2017).	20
FIGURA 2 - REMOÇÃO DE N EM FUNÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS.....	29
FIGURA 3 - REMOÇÃO DE P EM FUNÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS.....	30
FIGURA 4 - REMOÇÃO DE K EM FUNÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS.....	30
FIGURA 5 - REMOÇÃO DE CA EM FUNÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS.	30
FIGURA 6 - REMOÇÃO DE MG EM FUNÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS. ...	31
FIGURA 7 - REMOÇÃO DE S EM FUNÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS.....	31
FIGURA 8 - REMOÇÃO DE CU EM FUNÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS.	32
FIGURA 9 - REMOÇÃO DE FE EM FUNÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS.....	32
FIGURA 10 - REMOÇÃO DE ZN EM FUNÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS. ...	33
FIGURA 11 - REMOÇÃO DE MN EM FUNÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS. ...	33
FIGURA 12 - REMOÇÃO DE B EM FUNÇÃO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS.	34
FIGURA 13 - PARCELA SEM PLANTAS DE SOLO (ESQUERDA) E SOLO NÃO RIZOSFÉRICO (DIREITA).....	48
FIGURA 14 -. ATRIBUTOS QUIMICOS DO SOLO PH (A), CARBONO (B), CALCIO (C) E MAGNESIO (D) EM SOLO RIZOSFÉRICO E NÃO RIZOSFERICO.	53
FIGURA 15 - ATRIBUTOS QUIMICOS DO SOLO FOSFORO (A), POTASSIO (B), COBRE (C) E MANGANES (D) EM SOLO RIZOSFÉRICO E NÃO RIZOSFERICO.	54
FIGURA 16 - ATRIBUTOS QUIMICOS DO SOLO FERRO (A), ZINCO (B), AMONIO (C) E NITRATO (D) EM SOLO RIZOSFÉRICO E NÃO RIZOSFERICO.	55
FIGURA 17 – EXPERIMENTOS DE CAMPO DE SOJA REALIZADOS DURANTE AS SAFRAS 2013/2014, 2014/2015 E 2015/2016 UTILIZADAS PARA QUANTIFICAR A DIFERENÇA DE RENDIMENTO DE 1990 A 2015. OS CÍRCULOS VERMELHOS REPRESENTAM OS LOCAIS ONDE OS DADOS DE PRODUÇÃO DE SOJA FORAM OBTIDOS PARA AVALIAÇÃO DO MODELO. OS VALORES NA LEGENDA REPRESENTAM A PARTE DECIMAL DE UM PIXEL CULTIVADO COM SOJA. ADAPTADO DO IBGE (2017).	64

FIGURA 18 - RELAÇÃO ENTRE AS FASES FENOLÓGICAS DAS CULTURAS MEDIDAS E SIMULADAS (A E C) E RENDIMENTO DE GRÃOS (B E D) PARA AS FASES DE CALIBRAÇÃO (A E B) E AVALIAÇÃO (C E D). R1, R3, R5 E R7 SÃO, RESPECTIVAMENTE, DIAS APÓS A SEMEADURA PARA PRIMEIRA FLOR, PRIMEIRA VAGEM, PRIMEIRA SEMENTE E MATURIDADE, CONSIDERANDO AS CULTIVARES DE ACORDO COM O GRUPO DE MATURIDADE RELACIONADO. RMSE É O ERRO QUADRÁTICO MÉDIO DA RAIZ, D É O ÍNDICE DE WILLMOTT E AS BARRAS INDICAM OS DESVIOS PADRÃO ENTRE OS VALORES MEDIDOS E OS SIMULADOS.....	68
FIGURA 19 - POTENCIAL, ATINGÍVEL E RENDIMENTO DOS AGRICULTORES NO MUNICÍPIO PARA SOJA, OBTIDO CONSIDERANDO A MÉDIA DAS ESTAÇÕES DE CULTIVO DE 1989/90 A 2014/15.	70
FIGURA 20 – PRODUÇÃO DE GRÃOS DE SOJA OBTIDA A PARTIR DE ESTATÍSTICAS OFICIAIS (●) E RENDIMENTO COM TENDÊNCIA TECNOLÓGICA REMOVIDA POR REGRESSÃO LINEAR (○), CONSIDERANDO O PERÍODO DE 1989/90 A 2014/15, PARA OS MUNICÍPIOS DE CASTRO, PR (A), MAMBORÊ, PR (B), MONTIVIDIU, GO (C) E PRIMAVERA DO LESTE, MT (D), BRASIL.	71
FIGURA 21 – DIFERENÇA DE RENDIMENTO DA SOJA CAUSADA PELO MANEJO AGRÍCOLA SUBIDEAL PARA OS MUNICÍPIOS DE CASTRO, PR (A), MAMBORÊ, PR (B), MONTIVIDIU, GO (C) E PRIMAVERA DO LESTE, MT (D) PARA O PERÍODO DE 1989/90 A 2014/15. AS LINHAS VERMELHAS TRACEJADAS INDICAM O VALOR MÉDIO PARA CADA ESTAÇÃO DE CULTIVO DE DIFERENTES DATAS DE SEMEADURA, GRUPOS DE MATURIDADE E TIPOS DE SOLO CONSIDERADOS NAS SIMULAÇÕES. AS BARRAS SÃO MEDIANAS, PERCENTIL 25-75% E 10-90%, E O PRETO APONTA OS OUTLIERS, COM BASE EM 24 COMBINAÇÕES DE GESTÃO (4 DATAS DE SEMEADURA, 2 GRUPOS DE MATURIDADE E 3 TIPOS DE SOLO).	72
FIGURA 22 DIFERENÇA DE RENDIMENTO DA SOJA CAUSADA PELO MANEJO AGRÍCOLA SUBIDEAL PARA OS MUNICÍPIOS DE CASTRO, PR (A), MAMBORÊ, PR (B), MONTIVIDIU, GO (C) E PRIMAVERA DO LESTE, MT (D) PARA O PERÍODO DE 1989/90 A 2014/15. AS LINHAS VERMELHAS TRACEJADAS INDICAM O VALOR MÉDIO PARA CADA ESTAÇÃO DE CULTIVO DE DIFERENTES DATAS DE SEMEADURA, GRUPOS DE MATURIDADE E TIPOS DE SOLO CONSIDERADOS NAS SIMULAÇÕES. AS BARRAS SÃO MEDIANAS, PERCENTIL 25-75% E 10-90%, E O	

PRETO APONTA OS OUTLIERS, COM BASE EM 24 COMBINAÇÕES DE GESTÃO (4 DATAS DE SEMEADURA, 2 GRUPOS DE MATURIDADE E 3 TIPOS DE SOLO).....	74
FIGURA 23 - PERCENTUAL DE ESTAÇÕES DE CULTIVO COM DIFERENÇA DE RENDIMENTO NEGATIVA PELO MANEJO DE CULTURAS SUB-ÓTIMO OBTIDO A PARTIR DA AGREGAÇÃO DE DIFERENTES DATAS DE SEMEADURA, GRUPOS DE MATURIDADE E TIPOS DE SOLO PARA SIMULAÇÃO DE RENDIMENTO DE SOJA PELO MODELO DE CULTURA.....	75
FIGURA 24 – PRODUÇÃO DE GRÃOS DE SOJA MEDIDO EM CAMPEÕES REGIONAIS DO CONCURSO DE PRODUÇÃO DE SOJA DO CESB E MEDIDO E SIMULADO (ATINGÍVEL) AO NÍVEL DO AGRICULTOR PARA AS SAFRAS 2013/14, 2014/15 E 2015/16 EM CASTRO E MAMBORÊ (A), E MONTIVIDIU E PRIMAVERA DO LESTE (B), BRASIL.....	76
FIGURA 25 - DISTRIBUIÇÃO RELATIVA DE NUTRIENTES NAS DIFERENTES PARTES DAS PLANTAS (%) DURANTE O ESTÁDIO R6 (MÁXIMO ACUMULO DE MATÉRIA SECA) NAS REGIÕES SUL E CENTRO OESTE DO BRASIL. MS = MATÉRIA SECA TOTAL; FS = FOLHA SUPERIOR; FI = FOLHA INFERIOR; H = HASTE; E V = VAGENS.....	99

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - LOCAL, CLIMA, SAFRA, CULTIVAR, POPULAÇÃO DE PLANTAS (PP), ADUBAÇÃO DE BASE E COBERTURA PARA CADA ENSAIO.....	20
TABELA 2 - ANÁLISE QUÍMICAS DO SOLO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES DOS ENSAIOS FORAM CONDUZIDOS EM FAZENDAS COMERCIAIS EM CASTRO, MAMBORÊ, MONTIVÍDIU E PRIMAVERA DO LESTE DURANTE AS SAFRAS 2013/2014, 2014/2015 E 2015/16.	21
TABELA 3 – DATA DO PLANTIO, COLHEITA, CULTIVAR E DADOS METEOROLÓGICOS DOS ENSAIOS CONDUZIDOS EM CASTRO, MAMBORÊ, MONTIVÍDIU E PRIMAVERA DO LESTE DURANTE AS SAFRAS 2013/2014, 2014/2015 E 2015/16.....	22
TABELA 4 - VALORES MÉDIOS DE ABSORÇÃO E REMOÇÃO DE NUTRIENTES DOS ENSAIOS CONDUZIDOS EM EM CASTRO, MAMBORÊ, MONTIVÍDIU E PRIMAVERA DO LESTE.	25
TABELA 5 - CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE FATORES PRODUTIVOS, NUTRICIONAIS E AMBIENTAIS DOS ENSAIOS CONDUZIDOS EM CASTRO, MAMBORÊ, MONTIVÍDIU E PRIMAVERA DO LESTE.	26
TABELA 6 - ABSORÇÃO DE NUTRIENTES E REMOÇÃO DE NUTRIENTES EQUIVALE A PRODUZIR 1.000 T DE SEMENTES DE VÁRIOS AUTORES NOS ÚLTIMOS 39 ANOS	28
TABELA 7 - ÍNDICE DE COLHEITA APARENTE E REMOBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES DOS ENSAIOS CONDUZIDOS EM CASTRO, MAMBORÊ, MONTIVÍDIU E PRIMAVERA DO LESTE.	34
TABELA 8 - FAIXA DE SUFICIÊNCIA DE NUTRIENTES PARA SOJA E TEORES DE NUTRIENTES NA FOLHA DIAGNOSE E VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS DAS SAFRAS 2013/2014, 2014/2015 E 2015/16.	36
TABELA 9 -TEORES MÉDIO DE NUTRIENTES NA FOLHA DIAGNOSE NOS LOCAIS ONDE OS EXPERIMENTOS FORAM CONDUZIDOS DURANTE DAS TRÊS SAFRAS 2013/14, 2014/15 E 2015/16	37
TABELA 10 - FAIXA DE SUFICIÊNCIA DE NUTRIENTES PARA SOJA E TEORES DE NUTRIENTES NO GRÃO E VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS DAS SAFRAS 2013/2014, 2014/2015 E 2015/16	38

TABELA 11 - LOCAIS, CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN, SAFRA, POPULAÇÃO DE PLANTAS (PP), ADUBAÇÃO DE BASE, ADUBAÇÃO DE COBERTURA, PRECIPITAÇÃO MÉDIA E TEMPERATURA MÉDIA.....	47
TABELA 12 -. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SNR E SR.	49
TABELA 13 - LOCAIS, ESTAÇÕES DE CULTIVO, CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN, DATAS DE SEMEADURA, CULTIVARES E SEUS GRUPOS DE MATURIDADE E POPULAÇÃO DE PLANTAS (PP) PARA AS FASES DE CALIBRAÇÃO E AVALIAÇÃO DSSAT - CSM – CROPGRO - SOJA.....	64
TABELA 14 -. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO E GRANULOMETRIA (0-20 CM) NOS LOCAIS ONDE OS EXPERIMENTOS FORAM CONDUZIDOS.	94
TABELA 15.- CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE FATORES PRODUTIVOS. NUTRICIONAIS E AMBIENTAIS NOS LOCAIS ONDE OS EXPERIMENTOS FORAM CONDUZIDOS.	95
TABELA 16 -. ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELA SOJA NOS LOCAIS ONDE OS EXPERIMENTOS FORAM CONDUZIDOS DURANTE TRÊS ANOS AGRÍCOLAS.....	96
TABELA 17 -. REMOÇÃO PELO GRÃO DE NUTRIENTES PELA SOJA NOS LOCAIS ONDE OS EXPERIMENTOS FORAM CONDUZIDOS DURANTE TRÊS ANOS AGRÍCOLAS.....	97

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO GERAL.....	13
REFERENCIAS.....	15
2.0 CAPÍTULO I: ABSORÇÃO, PARTICIONAMENTO E REMOÇÃO DE NUTRIENTES PELA SOJA EM ÁREAS DE ALTA PRODUTIVIDADE NO BRASIL.....	16
RESUMO.....	16
ABSTRACT.....	17
1.1 INTRODUÇÃO.....	18
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
1.2.1 Descrição das áreas.....	19
1.2.2 Biomassa da parte aérea e folha diagnose.....	23
1.2.3 Teores de nutrientes na folha diagnose, parte aérea e grãos.....	23
1.2.4 Rendimento de grãos e seus componentes.....	23
1.2.5 Análise estatística.....	24
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
1.3.1 Condições climáticas.....	24
1.3.2 Produtividade de grão e biomassa da parte aérea.....	24
1.3.2 Absorção e remoção de nutrientes pelos grãos.....	26
1.3.2 Índice de colheita aparente e remobilização de nutrientes.....	34
1.3.3 Concentrações de nutrientes na folha diagnose e grãos.....	35
1.4 CONCLUSÕES.....	39
1.5 REFERENCIAS.....	40
3.0 CAPITULO II : ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO DE ALTA PRODUTIVIDADE DE SOJA.....	44
RESUMO.....	44
ABSTRACT.....	45
2.1 INTRODUÇÃO.....	46
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	47
2.2.1 Descrição das áreas.....	47
2.2.2 Amostragem do SR e SNR.....	48
2.2.3 Nitrato e amônio.....	48
2.2.4 Análise química do solo.....	49
2.2.5 Análise Estatística.....	49

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
2.4 CONCLUSÕES.....	56
2.5 REFERENCIAS.....	57
4.0 CAPITULO III: AVALIAÇÃO DOS FATORES LIMITANTES PRODUÇÃO DE SOJA USANDO DSSAT-CSM-CROPGRO-SOJA CALIBRADO PELO GRUPO DE MATURIDADE.....	60
RESUMO.....	60
ABSTRACT.....	61
3.1 INTRODUÇÃO.....	62
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	63
3.2.1 Calibração e avaliação do modelo de colheita.....	63
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
3.3.1 Desempenho da soja DSSAT-CSM-CROPGRO.....	68
3.3.2 Potencial, atingível e rendimento dos agricultores em nível em cada município.....	69
3.3.3 Fatores limitantes para alto rendimento da soja.....	71
3.4 CONCLUSÃO.....	77
3.5 REFERENCIAS.....	78
5.0 CONCLUSÃO GERAL.....	82
REFERÊNCIAS.....	84
APÊNDICE 1.....	94
APÊNDICE 2.....	96
APÊNDICE 3.....	99

1.0 INTRODUÇÃO GERAL

A soja (*Glycine max* [L.] Merrill) é a mais importante oleaginosa cultivada no mundo e uma das principais culturas agrícolas dos Estados Unidos, Brasil e Argentina. Na produção mundial de soja, os três maiores produtores são Estados Unidos, Brasil e Argentina – juntos, responderam (em média considerando o período 2014/2015) por 82,2% da produção mundial (USDA, 2016). Dentre os grandes produtores mundiais de soja, o Brasil é o país que apresenta o maior potencial de expansão da área cultivada, podendo multiplicar a sua atual produção e suprir boa parte da esperada demanda adicional pelo grão.

Estima-se que aproximadamente metade do ganho no rendimento de grãos foi devido ao melhoramento genético e das práticas de manejo. A utilização de estratégias atuais de manejo associado ao plantio de cultivares melhorada aumentou a frequência de produtores atingido rendimento superior 5000 kg ha⁻¹ (CUBBAGE, 2010; GASPAR et al., 2017; CESB, 2017). Esses resultados confirmam um estreitamento na diferença entre produtividade real e potencial, demonstrando que o manejo realizado e as condições edafoclimáticas nesses locais propiciam a obtenção de produtividades próximas à do potencial da cultura.

Para avaliar o potencial produtivo e exigência nutricional da soja, foi criado em 2008 no Brasil “O Desafio Nacional de Máxima Produtividade da Soja”, realizado pelo Comitê Estratégico de Soja Brasil (CESB). Os altos rendimentos obtidos no concurso nas últimas safras e a ausência de dados recentes sobre demanda de nutrientes em áreas de alto rendimento criaram questionamentos acerca das recomendações de adubação, no sentido de verificar se as mesmas são suficientes, ou não, para atender a produção de biomassa e a exportação de nutrientes com os grãos.

Portanto, o conhecimento dos padrões de extração e exportação, bem como, os teores de nutrientes na rizosfera em áreas com alto rendimento contribui para o refinamento do manejo nutricional da cultura, pela recomendação racional de fertilizantes, visando assim, a manutenção da fertilidade do solo em níveis adequados.

O trabalho encontra-se dividido em três capítulos, sendo que o capítulo 1 foi avaliado as taxas de absorção e exportação de nutrientes pela soja em áreas de alto rendimento (> 4.000 kg ha⁻¹) em duas das principais regiões produtoras do mundo, nas regiões Sul (Clima subtropical) e Centro Oeste (Clima tropical) do Brasil. No capítulo 2 foram avaliados a disponibilidade de nutrientes na rizosfera e quantificar a variação na depleção de nutrientes em três áreas de alto rendimento de soja na região Sul do Brasil e no capítulo 3 avaliou calibrar o

DSSAT -CSM CROPGRO Soja para diferentes cultivares usando parâmetros comuns como maturidade grupos além de quantificar diferenças de rendimento causadas por déficit hídrico e manejo sub ótimo das culturas. No capítulo 1 foi possível concluir que as mudanças históricas nas características das variedades de soja e nas práticas de manejo alteraram a produtividade e a exigência nutricional das cultivares de soja (BALBOA et al., 2018). Os critérios para recomendação de adubação da cultura soja são baseados na reposição de nutrientes extraídos pelo grão. Nesse estudo foi possível concluir que áreas com alta produtividade exigem uma maior absorção de macronutrientes (kg t^{-1}) N = 95, P = 7,5; K = 44; e micronutrientes (g t^{-1}) Zn = 66; Mn = 69; B = 73; Fe = 257 e Cu = 21). Na remoção de macronutrientes (kg t^{-1}) N = 60; P = 4,7; K 15,3; Mg = 2,6 e micronutrientes (g t^{-1}) B = 27 e Mn = 21,6) e translocação principalmente do S, portanto com as variações na concentração a medida que o rendimento aumenta, é necessário um ajuste nas taxas de fertilização de manutenção.

No Capítulo 2 de maneira geral pode-se concluir que a composição química do SR do SNR apresentou variações nos atributos químicos do solo sendo que o C, NO_3^- , NH_4^+ , Fe e Cu foram superiores no SR em comparação ao SNR, ou seja houve ocorrência de acúmulo desses nutrientes na fração rizosférica, fato justificado devido à exsudação de ácidos orgânicos, mucilagens pelas plantas e pela atividade microbiana da rizosfera que altera a concentração e a absorção de nutrientes para as plantas. No entanto, os nutrientes com mobilidade limitada nos solos como P, K, Fe, Zn e Cu são transportados para raízes por difusão, que é um processo lento. Esses nutrientes tiveram um acúmulo na SNR, sendo que a fração disponível para planta e a concentração na solução no SR pode ser insuficientes para satisfazer os requisitos das plantas.

No Capítulo 3 foi possível entender a diferença de rendimento nas principais regiões de produção de soja no Brasil, considerando a calibração de um modelo de cultura mecanicista (DSSAT-CSM-CROPGRO-Soja) por grupos de maturidade e não por cultivar. Os fatores limitantes do rendimento associadas à determinação do potencial de rendimento estão principalmente relacionadas à textura do solo, data da semeadura e grupo de maturidade. Além disso o clima local afeta a YGWD, com limitações principalmente para épocas de cultivo, tipos de solo, datas de semeadura e grupos de maturidade. Os resultados encontrados nesse estudo podem ser usados para projetar cenários de melhorias de rendimento da soja, com diferentes níveis de otimismo.

REFERENCIAS

BALBOA, G. R.; SADRAS, V. O.; CIAMPITTI, I. A. Shifts in soybean yield, nutrient uptake, and nutrient stoichiometry: A historical synthesis-analysis. **Crop Science**, vol. 58, p. 43-54, 2018.

CESB – Comitê Estratégico **Soja Brasil**. Disponível em: <<http://www.desafiosoja.com.br>. Acesso em 20 set. 2016.

CUBBAGE, S., 2010. World soybean yield record shattered – Again. **Missouri Soybean Farmer**, vol. 15. Missouri Soybean Association, Jefferson City, pp. 6 – 7, Also available at <http://mosoy.org/wp-content/uploads/news/WEB%20PDF-%20DEC%202010.pdf> Acesso em 20 set. 2016.

GASPAR, A.; LABOSKI, C.; NAVE, S.; CONLEY, S. Dry matter and nitrogen uptake, partitioning, and removal across a wide range of soybean seed yield levels. **Crop Science**. vol 57, p. 2170 – 2182, 2017.

USDA-National Agricultural Statistics Service, 2016. Quick Stats 2.0. U.S. and World Data agriculture. USDA-NASS, Washington, DC.

2.0 CAPÍTULO I: ABSORÇÃO, PARTICIONAMENTO E REMOÇÃO DE NUTRIENTES PELA SOJA EM ÁREAS DE ALTA PRODUTIVIDADE NO BRASIL.

RESUMO

As cultivares com alto potencial produtivo e as práticas de manejo atuais potencialmente exigem elevados aportes de nutrientes, fato que justifica a reavaliação dos padrões de absorção e remoção de nutrientes pelas plantas. O objetivo deste estudo foi avaliar a absorção e exportação de nutrientes pela soja em áreas de alto rendimento ($> 4.000 \text{ kg ha}^{-1}$) em duas das principais regiões produtoras do mundo, nas regiões Sul (Clima subtropical) e Centro Oeste (Clima tropical) do Brasil. Nossas hipóteses são: (1) Lavouras modernas de soja apresentam maior absorção, exportação e translocação de nutrientes em relação às reportadas em pesquisas antigas e (2) a concentração de nutrientes nas plantas é correlacionada com o nível de rendimento. As avaliações foram realizadas em fazendas que participam do Concurso Nacional da Máxima produtividade da Soja do Comitê Estratégico Soja Brasil (CESB) e caracterizam-se por apresentar histórico regular de alta produtividade, as coletas ocorreram durante as safras agrícolas de 2013/14, 2014/15 e 2015/16. Os rendimentos de biomassa da parte aérea e grão variaram conforme fazenda e ano, assim como a nutrição das plantas, sendo devido principalmente das condições climáticas, da cultivar e das práticas de manejo adotada em cada safra e fazenda. As áreas com alto rendimento de soja exigem elevados aportes de nutrientes aumentando a absorção de macronutrientes (kg t^{-1}) N = 95, P = 7,5; K = 44; e micronutrientes (g t^{-1}) Zn = 66; Mn = 69; B = 73; Fe = 257 e Cu = 21). Na remoção de macronutrientes pelo grãos (kg t^{-1}) N = 60; P = 4,7; K = 15,3; Mg = 2,6 e micronutrientes (g t^{-1}) B = 27 e Mn = 21,6) e translocação principalmente do S. No entanto, a concentração e a quantidade nutrientes absorvidos em áreas de alto rendimento de soja não apresentou correlação com os níveis de rendimento e com a quantidade de nutrientes removidos pelos grãos, além disso não houve grande variações na concentrações de nutrientes na folha diagnose em relação a manuais de interpretação e avaliação do estado nutricional. As fazendas localizadas na região tiveram maiores taxas de absorção, remoção e translocação de nutrientes em comparação à região Centro Oeste sendo principalmente devido ao manejo do solo e as condições climáticas. Portanto, a utilização de cultivares com alto teto produtivo e as melhorias nas práticas de manejo alteraram os padrões de absorção e remoção de alguns nutrientes, além disso, as regiões de cultivo diferem no teor e acúmulo de nutriente na planta e grão.

Palavras-chave: *Glycine Max*. Nutrição. Demanda de Nutrientes. Eficiência Interna.

CHAPTER I: ABSORPTION, PARTICIPATION AND REMOVAL OF NUTRIENTS BY SOYA IN AREAS OF HIGH PRODUCTIVITY IN BRAZIL.

ABSTRACT

Cultivars with high productive potential and current management practices potentially require high nutrient inputs, a fact that justifies the reassessment of nutrient absorption and removal patterns by plants. The objective of this study was to evaluate the absorption and exportation of nutrients by soy in high yield areas ($> 4,000 \text{ kg ha}^{-1}$) in two of the main producing regions in the world, in the South (subtropical) and Midwest (tropical) regions of Brazil. Our hypotheses are: (1) Modern soybean crops present greater absorption, export and translocation of nutrients in relation to those reported in previous researches and (2) the concentration of nutrients in plants is correlated with the level of yield. The evaluations were carried out in farms that participate in the National Soy Maximum Productivity Competition of the Soja Brazil Strategic Committee (CESB) and are characterized by having a regular history of high productivity, the collections took place during the 2013/14, 2014 / 15 and 2015/16. The biomass yields of the aerial part and grain varied according to farm and year, as well as the nutrition of the plants, being mainly due to climatic conditions, cultivation and management practices adopted in each crop and farm. Areas with high soybean yield require high nutrient inputs, increasing the absorption of macronutrients (kg t^{-1}) $\text{N} = 95$, $\text{P} = 7.5$; $\text{K} = 44$; and micronutrients (g t^{-1}) $\text{Zn} = 66$; $\text{Mn} = 69$; $\text{B} = 73$; $\text{Fe} = 257$ and $\text{Cu} = 21$). In the removal of macronutrients by the grains (kg t^{-1}) $\text{N} = 60$; $\text{P} = 4.7$; $\text{K} = 15.3$; $\text{Mg} = 2.6$ and micronutrients (g t^{-1}) $\text{B} = 27$ and $\text{Mn} = 21.6$) and translocation mainly from S. However, the concentration and amount of nutrients absorbed in areas of high soybean yield did not correlate with the yield levels and the amount of nutrients removed by the grains, in addition there were no great variations in the concentrations of nutrients in the diagnostic leaf in relation to manuals of interpretation and evaluation of the nutritional status. The farms located in the region had higher rates of absorption, removal and translocation of nutrients compared to the Midwest region, mainly due to soil management and climatic conditions. Therefore, the use of cultivars with a high yield ceiling and improvements in management practices have changed the patterns of absorption and removal of some nutrients, in addition, the cultivation regions differ in the content and accumulation of nutrients in the plant and grain.

Keywords: Glycine Max. Nutrition. Nutrient Demand. Internal Efficiency.

1.1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* [L.] Merrill) é uma das principais cultura agrícola no mundo, devido aos elevados teores de óleo (20%) e proteína (40%), sendo utilizada principalmente para alimentação humana, animal e para produção de biodiesel. A produção mundial de soja foi de 312,4 milhões de toneladas em 2015/16, sendo o EUA o maior produtor mundial (106,9 milhões ton), seguido pelo Brasil (97,2 milhões ton) e da Argentina (61,4 milhões ton), e juntos os três países produzem 85 % da produção mundial do grão (USDA, 2016). Os aumentos rápidos na população e no desenvolvimento econômico ampliou a demanda por soja (BATTISTI et al., 2018) é será obrigado a aumentar a uma taxa de 2,6 % ao ano de 2017 a 2026 (OECD 2017), que será possível aumentando o rendimento das culturas, uma vez que a expansão desta cultura no país é muito limitada.

Este desafio pode ser alcançado aumentando a taxa na qual as melhores práticas de gestão são identificadas e adotadas para um contexto particular do clima do solo (MOUTRINIS et al., 2018). Nas ultimas décadas os incremento no rendimento de soja foram devido principalmente ao aumento na taxa fotossíntese e teor de clorofila (JIN et al., 2010; LIU et al., 2012) no índice de colheita (CUI and YU, 2005; PERINI et al., 2012; KOESTER et al., 2014) e resistência a doenças (FOULKES et al., 2009). Já as principais mudanças nas práticas de manejo para aumento do rendimento estão relacionadas principalmente ao uso frequentes de pesticidas (HARTMAN et al., 2011; ORLOWSKI et al., 2016), rotação de culturas (RATTALINO EDREIRA et al., 2017) e o plantio direto (TOLIVER et al., 2012; HOUX et al., 2014). A utilização de estratégias atuais de manejo associado ao plantio de cultivares melhorada aumentou a frequência de produtores atingido rendimento superiores 5000 kg ha⁻¹ (CUBBAGE, 2010; GASPAR et al., 2017; CESB, 2017).

Embora existam trabalhos sobre absorção e remoção de nutrientes (BORST e THATCHER, 1931; HAMMOND et al., 1951; Hanway e Weber, 1971; Harper, 1971; Batalgia et al., 1976; Hanway et al., 1984), as mudanças históricas nas características das variedades de soja e nas práticas de manejo alteraram as produtividades e as exigências nutricional das cultivares de soja (BALBOA et al., 2018). Os critérios para recomendação de adubação da cultura soja são baseados na reposição de nutrientes extraídos pelo grão. Se as concentrações diferirem à medida que o rendimento aumenta, as taxas de fertilização de manutenção podem precisar de ajuste. Alternativamente, se nossas conclusões concordarem com as recomendações de extensão atuais, as taxas de remoção divulgadas em áreas com alto rendimento (> 4000 kg ha⁻¹) aumentaria a confiança dos produtores nessas recomendações. Além disso, vários estudos

relatam valores de remoção de nutrientes diferentes em níveis de rendimento semelhantes (Gaspar et al., 2017).

Essas mudanças justificam a reavaliação da absorção, particionamento e remoção de nutrientes da soja para melhor orientar as recomendações de fertilidade da soja em níveis adequados. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a absorção e exportação de nutrientes pela soja em áreas de alta produtividade ($> 4.000 \text{ kg ha}^{-1}$) em duas das principais regiões produtoras do mundo, nas regiões Sul e Centro Oeste do Brasil. Nossas hipóteses são: (1) Lavouras com alto rendimento de soja apresentam maior absorção e exportação em relação às reportadas em pesquisas antigas e (2) a concentração de nutrientes nas plantas é correlacionada com o nível de rendimento.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Descrição das áreas

Os ensaios foram realizados em quatro fazendas localizados no Sul do Brasil: em Castro ($24^{\circ}49'S$, $49^{\circ}57'W$) e Mamborê ($24^{\circ}36'S$, $52^{\circ}56'W$) no Estado do Paraná e na região Centro Oeste em Montividiu ($17^{\circ}26'S$, $51^{\circ}27'W$) no Estado de Goiás e Primavera do Leste ($15^{\circ}24'S$, $54^{\circ}22'W$). Os ensaios foram conduzidos em fazendas comerciais com alta tecnologia aplicada. Essas fazendas foram classificadas como as melhores em suas regiões, considerando seu desempenho durante a competição brasileira de rendimento de soja (CESB, 2017), para as safras de 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016 (Figura 1).

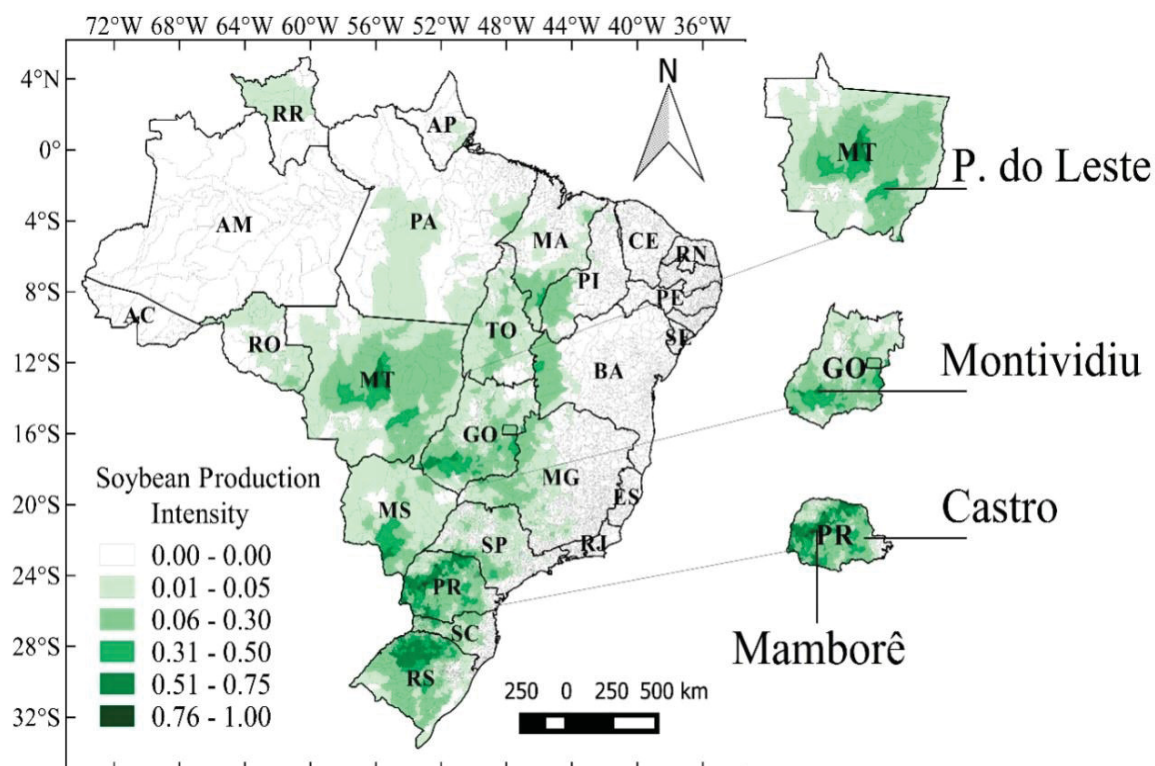


Figura 1 – Os ensaios foram conduzidos em fazendas comerciais em Castro, Mamborê, Montividiu e Primavera do Leste durante as safras 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016. Os valores na legenda representam a parte decimal de um pixel cultivado com soja. Adaptado do IBGE (2017).

Os agricultores selecionados participam do Concurso Nacional da Máxima produtividade da Soja do Comitê Estratégico Soja Brasil (CESB) e caracterizam-se por apresentar histórico regular de alta produtividade (6.000 kg ha^{-1}). As informações geográficas, as características das cultivares, o clima, o sistema de preparo do solo e as adubações de semeadura e cobertura de cada local estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Local, clima, safra, cultivar, população de plantas (PP), adubação de base e cobertura para cada ensaio.

Local	Clima	Safra	Cultivar	PP (pl m ⁻²)	Adubação base			Adubação cobertura
					N	P ₂ O ₅	K ₂ O	K ₂ O
Castro	Cfb	2013/14 ^{2a}	Veloz (I ³)	29	10	75	25	90
		2014/15 ^{2b}	AS 3570 (SI)	37	10	75	25	90
		2015/16	BMX Apolo (I)	29	10	75	25	60
Mamborê	Cfa	2013/14	NA 5909 RG (I)	29	22.7	82.8	0	87

		2014/15	V-Top (I)	28	18.7	68	0	102
		2015/16	NA 5909 (I)	28	24	100	0	90
		2013/14	Desafio (I)	23	0	192	0	90
Montividiu	Aw	2014/15	CD2728 (I)	39	0	192	0	90
		2015/16	7110 IPRO (I)	44	0	126	0	135
		2013/14	TMG 132 (D)	23	0	50	45	0
Primavera do Leste	Aw	2014/15 ^{2c}	CD 2720 (I)	26	0	72	72	109
		2015/16	M 8372 IPRO (D)	22	0	72	72	90

Em cada área de cada fazenda, foram delimitadas quatro parcelas de seis linhas de 6,0 m de comprimentos. As parcelas foram delimitadas ao acaso, com uma distância de aproximadamente 130 metros uma da outra, para tornar toda área representativa, porém localizadas dentro do talhão da área inscrita no Desafio nacional de máxima produtividade realizado pelo Comitê Estratégico Soja Brasil (CESB). Cada parcela se caracterizou como uma repetição. Durante o período de avaliação em cada área foram coletadas sete sub-amostras de solo por parcela para compor a amostra composta, nas profundidades de 0-0.1 m; 0.1-0.2 m e 0.2-0.3 m no estágio fenológico R8 (FEHR e CAVINESS, 1977). Foram determinados a textura e os atributos químicos do solo (EMBRAPA, 1997), conforme resultados apresentados na Tabela 2. Os ensaios foram conduzidos em fazendas comerciais em Castro, Mamborê, Montividiu e Primavera do Leste durante as safras 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016

Tabela 2 - Análise químicas do solo em diferentes profundidades dos ensaios foram conduzidos em fazendas comerciais em Castro, Mamborê, Montividiu e Primavera do Leste durante as safras 2013/2014, 2014/2015 e 2015/16.

Local	Prof.	pH (CaCl ₂)	H + Al -----cmolc dm ⁻³ -----	Ca	Mg	K	CTC	V	C	P	Zn	Mn	Fe	Cu
								%	g/dm ³					
	0-10	5,4	4,0	5,0	2,2	0,7	11,9	65	24	35	20	36	41	4
Castro	10-20	5,5	3,7	4,4	1,9	0,6	10,6	65	21	17	12	29	40	3
	20-40	5,5	3,3	3,7	1,5	0,5	9,1	62	18	3	5	17	34	2
	0-10	5,0	4,4	5,1	1,4	0,2	11,1	60	21	22	3	52	43	9
Mambore	10-20	4,9	4,5	4,1	1,1	0,2	10,0	54	20	6	1	35	44	10

	20-40	4,9	4,4	3,5	1,0	0,2	9,1	51	18	3	1	33	45	11
	0-10	5,4	2,2	4,4	1,4	0,3	8,3	73	22	44	12	21	40	3
Montividiu	10-20	5,0	2,8	3,1	0,9	0,3	7,1	60	20	21	9	15	46	2
	20-40	4,8	2,6	1,7	0,4	0,2	4,8	46	15	4	2	2	50	1
	0-10	5,2	2,1	3,3	1,2	0,3	6,9	69	17	13	8	11	66	1
Primavera do Leste	10-20	5,2	1,8	2,6	1,0	0,2	5,6	67	13	5	2	7	73	1
	20-40	4,6	1,9	0,6	0,4	0,1	3,1	38	9,	1	1	2	74	1

Os dados meteorológicos foram obtidos a partir de estações meteorológicas automáticas localizadas próximas aos campos experimentais (± 10 km), com exceção das chuvas que foram registradas na área experimental (Tabela 3).

Tabela 3 – Data do plantio, colheita, cultivar e dados meteorológicos dos ensaios conduzidos em Castro, Mamborê, Montividiu e Primavera do Leste durante as safras 2013/2014, 2014/2015 e 2015/16.

Local	Data		Cultivar	Precipitação (mm ciclo ⁻¹)	Tmax ---(° C ciclo ⁻¹)----	Tmin
	Plantio	Colheita				
	02/11/2013	06/03/2014	Veloz	453	27	16
Castro	10/11/2014	25/03/2015	AS 3570	842	27	16
	01/11/2015	16/03/2016	BMX Apolo	1164	26	16
	10/10/2013	14/02/2014	NA 5909 RG	523	31	18
Mamborê	03/10/2014	04/02/2015	V-Top	466	30	20
	23/09/2015	21/01/2016	NA 5909	1119	30	21
	10/10/2013	17/02/2014	Desafio	664	32	20
Montividiu	04/11/2014	03/03/2015	CD2728	950	31	20
	06/11/2015	21/02/2016	7110 IPRO	685	32	20
Primavera do Leste	26/10/2013	28/02/2014	TMG 132	1287	33	22
	02/11/2014	18/03/2015	CD 2720	1582	32	20

01/11/2015	25/02/2016	M 8372 IPRO	865	33	20
------------	------------	----------------	-----	----	----

1.2.2 Biomassa da parte aérea e folha diagnose

Para avaliação do estado nutricional das plantas foi coletado o terceiro trifólio com pecíolo no florescimento de 30 plantas por parcela escolhidas ao acaso conforme metodologia proposta por MALAVOLTA et al. (1997). No estádio R6 da escala FEHR et al. (1971) foram coletadas dez plantas e subdivididas em: folha superior (FS), folha Inferior (FI), caule (C), haste (H) e vagens (V). Após a coleta, as amostras de tecido vegetal foram submetidas a limpeza sequencial com água, solução ácida (HCl 0,1 mol L⁻¹) e água deionizada. Após a secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 65 ° C até peso constante, procedeu-se a moagem em moinho tipo Wiley (2 mm) e determinação dos teores macro e micronutrientes.

1.2.3 Teores de nutrientes na folha diagnose, parte aérea e grãos

A determinação dos teores de fosforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), manganês (Mn), ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), boro (B) e enxofre (S) foram determinadas por digestão com ácido nítrico (HNO₃) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂), sob sistema fechado em forno micro-ondas com posterior quantificação em ICP-OES (model Optima 3300 DV, Perkin Elmer, USA) . Para determinação do N realizou-se a digestão com ácido sulfúrico (H₂SO₄) em bloco digestor, com posterior quantificação pelo método semi-micro Kjeldahl (BREMNER e EDWARDS, 1965). O conteúdo de macro (kg ha⁻¹) e micronutrientes (g ha⁻¹) foram estimado pelo produto do teor com o acúmulo de biomassa seca (R6) e rendimento de grãos (R8) conforme escala de FEHR et al. (1971). Foram calculados o índice de colheita aparente (razão entre rendimento de grão e biomassa da parte aérea) e a remobilização de nutrientes (razão conteúdo de nutrientes nos grão e biomassa da parte aérea).

1.2.4 Rendimento de grãos e seus componentes

No estádio R6 (máximo acúmulo de biomassa) foram coletadas dez plantas por parcela para avaliação dos componentes do rendimento: altura de planta (AP), altura de inserção do 1^a legume (IPL), nº de ramos/planta (NRP), nº de legume/planta (NLP) e nº de grãos/legume (NGL). Na maturação fisiológica (R8) de cada local foi realizada a colheita manualmente. Em

seguida as plantas foram trilhadas (grãos separados da planta) e pesadas (massa da planta, massa de mil grãos e massa de grãos da área útil da parcela). O rendimento de grãos foi corrigido para 13 % de umidade e transformado em kg ha^{-1} a partir da área útil das parcelas.

1.2.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise estatística descritiva de posição (média) e variação (desvio padrão). Para determinar os componentes do rendimento e nutricionais que correlacionam com a produtividade de soja, foi realizada correlação de Pearson.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Condições climáticas

Nas quatro fazendas, a precipitação total durante as safras apresentou grandes variações (Tabela 3). As fazendas na região Centro Oeste do apresentam maior volume de precipitação quando comparado com a região sul nas safras 2013/14 e 2014/15, porém 2015/16 as precipitações foram superiores nas fazendas da região Sul. De maneira geral, as temperaturas máximas e mínimas foram semelhantes a média histórica de cada região (**Tabela 3**). Na região Sul do Brasil a precipitação ocorre durante todo o ano, mas durante o ciclo da soja é comum ocorrer períodos com limitação de água. Esta é uma região sob maior influência da Oscilação Sul El Niño (ENSO), onde durante a fase de fase quente (El Niño) a precipitação está acima da média, enquanto na fase fria (La Niña), a precipitação está abaixo da média (Alberto et al., 2006), levando a uma maior variabilidade de produção entre as estações de crescimento. Na região Centro-Oeste, a precipitação é totalmente concentrada entre setembro e abril, coincidindo com o período de crescimento da soja, com distribuição estável de chuvas ao longo da estação de crescimento e sem expressivo decréscimo no período de déficits hídricos, com mais precipitação estável entre as safras (SENTELHAS et al., 2017).

1.3.2 Produtividade de grão e biomassa da parte aérea

A produtividade geral de soja dos três anos foi de 4135 kg ha^{-1} , sendo de 4137, 4365, 4311 e 3726 kg ha^{-1} , respectivamente para Castro, Mambore, Montividiu e Primavera do Leste

e apresentam, respectivamente, a biomassa de parte aérea, sendo de 10550, 12930, 12682 e 9334 kg ha⁻¹ (**Tabela 4**).

Tabela 4 - Valores médios de absorção e remoção de nutrientes dos ensaios conduzidos em em Castro, Mamborê, Montividiu e Primavera do Leste.

Nutrientes ¹	Absorção de nutrientes (Biomassa)				Remoção de nutrientes (grão)			
	Castro	Mambore	Montividiu	Primavera L.	Castro	Mamborê	Montividiu	Primavera L.
	-----kg ha ⁻¹ -----							
Biomassa	10550	12930	12682	9334	4137	4365	4311	3726
N	381	437	444	278	255	262	257	227
P ₂ O ₅	71	85	78	54	46	47	45	41
K ₂ O	209	233	245	174	76	75	83	70
Ca	79	83	81	51	9	12	9	7
Mg	36	43	42	28	11	12	10	9
S	19	18	24	13	11	11	10	9
	-----g ha ⁻¹ -----							
Zn	287	247	274	260	177	144	164	167
Mn	236	284	439	164	98	107	90	67
B	255	320	365	267	108	104	120	116
Fe	870	1843	894	693	351	369	345	244
Cu	89	124	77	60	53	59	38	42

¹Média das três safras 2013/14, 2014/15 e 2015/16

As variações na acumulação de biomassa da parte aérea e produtividade de grão durante as safras podem ser explicadas por vários fatores que afetam a taxa de crescimento da cultura como radiação solar e a temperatura. Além disso, a correlação entre produtividade de grãos vs massa de mil grão e produtividade vs precipitação mostram grande influência de ambos fatores na produtividade (**Tabela 5**).

Tabela 5 - Correlação de Pearson entre fatores produtivos, nutricionais e ambientais dos ensaios conduzidos em Castro, Mamborê, Montividiu e Primavera do Leste.

Produtividade de grãos VS	Local			
	Castro	Mambore	Montividiu	Primavera do L
Massa de mil grãos	0.72*	0.87*	0.73*	0.73*
Índice de colheita	0.95*	0.11	0.66*	0.66*
Precipitação acumulada durante ciclo	-0.39	-0.72*	-0.18	-0.74*
Índice de colheita VS				
Precipitação acumulada ciclo	0.76*	-0.88*	0.95*	-0.76*
Estande de plantas	0.76*	*0.85	0.35	0.73*
Radiação solar acumulada Plantio - R3	0.69*	0.96*	-0.69*	0.50
Radiação solar acumulada R6 - R8	-0.04	-0.87	0.69*	-0.74*

A produção média neste estudo foi 38 % superior ao rendimento médio nacional de 3000 kg ha⁻¹ no Brasil (IBGE, 2015) e 58 % superior a média mundial de 2608 kg ha⁻¹ (FAO, 2018). As altas doses de fertilizantes, a utilização de cultivares adaptados para a região (Tabela 1) os níveis adequados de nutriente no solo (Tabela 2) pode ter colaborado para essas diferenças.

1.3.2 Absorção e remoção de nutrientes pelos grãos

Os altos rendimentos obtidos nas últimas décadas e a ausência de dados recentes sobre exigência macro e principalmente com micronutrientes em lavouras atuais criaram alguns questionamentos se as recomendações de adubação são suficientes para suprir as atuais produções de biomassa e grãos em áreas de alto rendimento de grãos. Nossos resultados mostram que houve uma evolução na quantidade de nutrientes absorvido, particionado e removido grãos em lavouras modernas, além disso, os teores de alguns nutrientes no grão concentraram-se de forma regional.

A absorção e a remoção de nutrientes apresentaram diferença significativa entre locais e anos (Tabela 2). A absorção média de N, P, K, Ca, Mg e S foi de 385, 31, 179, 72, 37 e 18 kg ha⁻¹ de grãos, respectivamente (Tabela 6). Para Zn, Mn, B, Fe e Cu a absorção foi de 267, 281, 297, 1059 e 87 g ha⁻¹ de grãos, respectivamente (Tabela 6). A absorção de macronutrientes em todos os locais obedeceu a seguinte ordem: N > K > P > Ca > Mg > S. Para os micronutrientes o Fe apresentou a maior e o Cu o menor absorção em todos os locais. Os demais micronutrientes variaram sua sequencia conforme cada local (Tabela 2). Em alguns casos específicos a absorção de nutrientes obtidos nesse estudo foram superiores aos encontrados em áreas de média (BRENDER et al., 2015) e alta produtividade (FLANNERY, 1986) com

absorção (por ha): 711 kg de N, 60 kg de P, 285 kg de K, 129 kg de Ca, 73 kg de Mg, 26 kg de S, 412 g de Zn, 428 g de Mn, 450 g de B, 2718 g de Fe, 218 g de Cu e rendimentos de grãos de 4611 e biomassa da parte aérea de 20680 kg ha⁻¹.

A alta quantidade de nutrientes absorvido nessa situação esteve relacionada principalmente às altas temperaturas e umidade durante o ciclo (UR > 80% e Temperatura > 30°C), sabe-se que nessas condições as plantas têm maior desenvolvimento vegetativo em relação ao reprodutivo. Além disso, a quantidade de nutrientes absorvido por uma cultura depende da genética do cultivar, das condições de clima do ano agrícola, do manejo fitotécnico aplicado na lavoura e das condições do solo. A quantidade de nutriente absorvido pelas plantas não influencia a produtividade de grãos (Extração vs Produtividade) além disso, a absorção de nutrientes não mostrou relação com a quantidade de nutrientes removidos pelos grãos (Absorção vs extração).

As relações de remoção de nutrientes com a produtividade de grão seguiram uma tendência linear (Figura 2 e 3). A concentração de nutrientes no grão tem menor variação em comparação com produtividade o que implica dizer a produtividade é o principal fator que determina remoção de nutrientes. Isto implica dizer que a estimativa de produtividade é maior importante do que a determinação dos teores de nutrientes nos grãos.

A remoção média de N, P, K, Ca, Mg e S foi de 251, 20, 63, 9, 11 e 6 a 14 kg ha⁻¹ de grãos, respectivamente (Tabela 3). Para Zn, Mn, B, Fe e Cu a remoção foi de 163, 90, 112, 328, e 48 g ha⁻¹ de grãos, respectivamente (Tabela 3). A remoção de nutrientes pelos grãos apresentou pouca variação entre as locais sendo que Mambore (PR) e Montividiu (GO) apresentaram as maiores remoção (Tabela 2). A remoção de macronutrientes nos grãos em todos os locais obedeceu a seguinte ordem: N > K > P > Mg > S=Ca. Em geral a sequencia para os micronutrientes foi Fe > Zn > B > Mn > Cu (Tabela 2).

Tabela 6 - Absorção de nutrientes e remoção de nutrientes equivale a produzir 1.000 t de sementes de vários autores nos últimos 39 anos

Nutriente	Bataglia et al., 1977	Cordeiro et al., 1979	Bundy & Oplinger (1984)	Borkert (1986)	Flannery (1986)	Tanaka et al., (1993)	Osaki (1991)	Yamada (1999)	EMBRAPA (2011)	Bender et al., 2015	Presente estudo
----- Absorção (kg t ⁻¹ grãos) -----											
N	76	77,4	-	82	81,5	-	70	-	83	79	95
P	5,7	6	-	7,5	8,1	-	11,7	-	15,4	6	7,8
K	32	32	-	24,5	54,5	-	36,4	-	38	40,8	44
Ca	20	12,8	-	12,2	27,2	-	16,8	-	12,2	38	18
Mg	9,1	4,4	-	6,7	9,3	-	7,7	-	6,7	14,3	9
S	3,1	7,7	-	15,4	4,6	-	-	-	15,4	5,4	4,5
----- Remoção (kg t ⁻¹ grãos) -----											
N	64	64,4	58,5	51	51	58,8	-	54	51	57,7	61
P	5	4,7	6	5	6,4	5,2	-	5,4	10	4,8	4,8
K	18	16,5	17,9	17	14,4	18,7	-	11,2	20	18,3,9	16
Ca	3	3,2	1,9	3	2,5	1,9	-	2,3	3	2,8	2,3
Mg	2	2,2	2,4	2	2,5	2,3	-	2,5	2	2,5	2,5
S	2	2,3	3,1	5,4	2,4	3,2	-	3,4	5,4	3,1	2,5

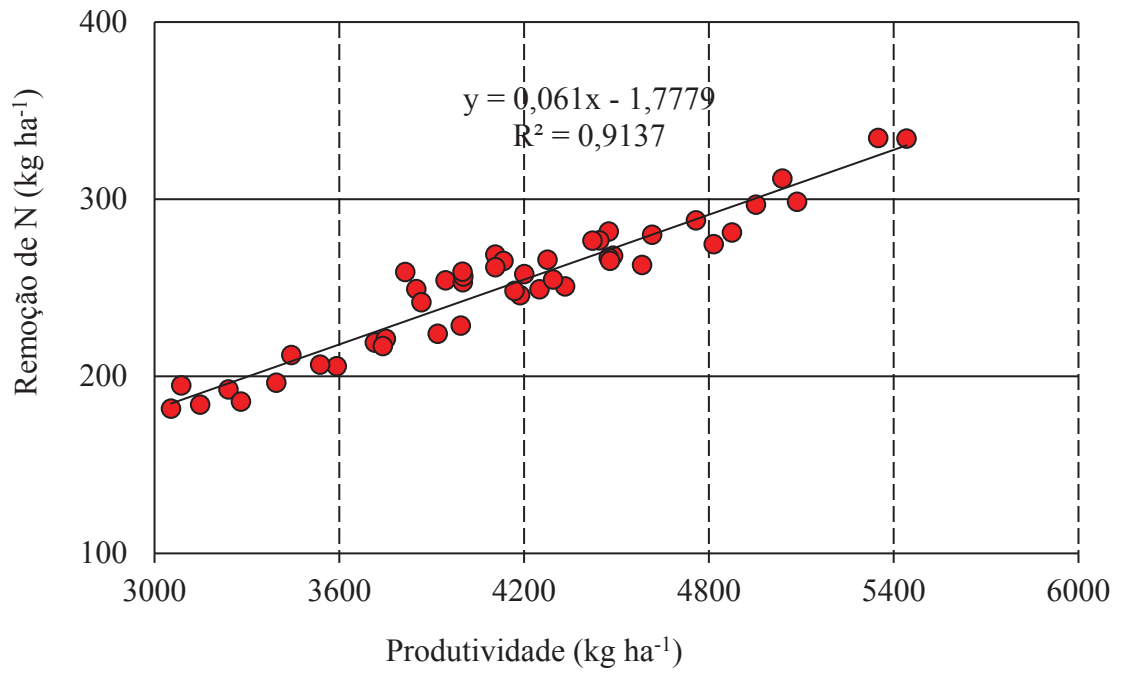


Figura 2 - Remoção de N em função da produtividade de grãos.

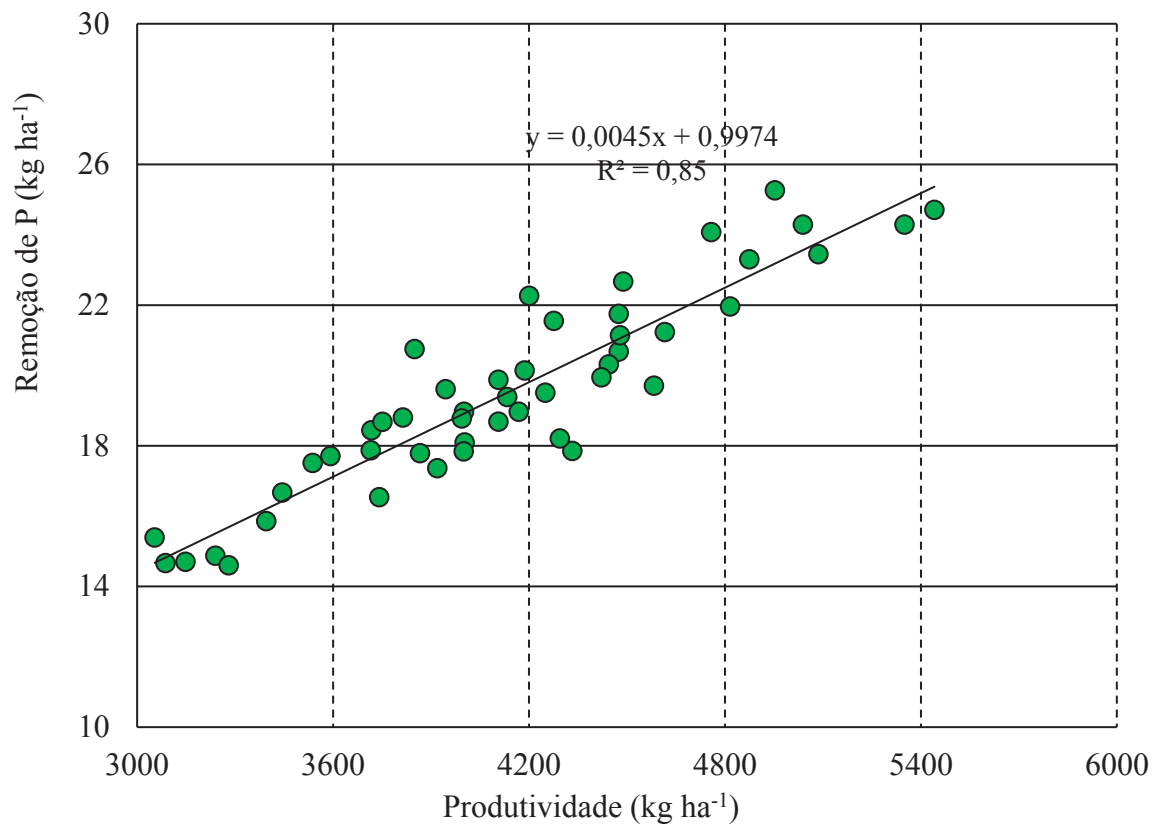


Figura 3 - Remoção de P em função da produtividade de grãos.

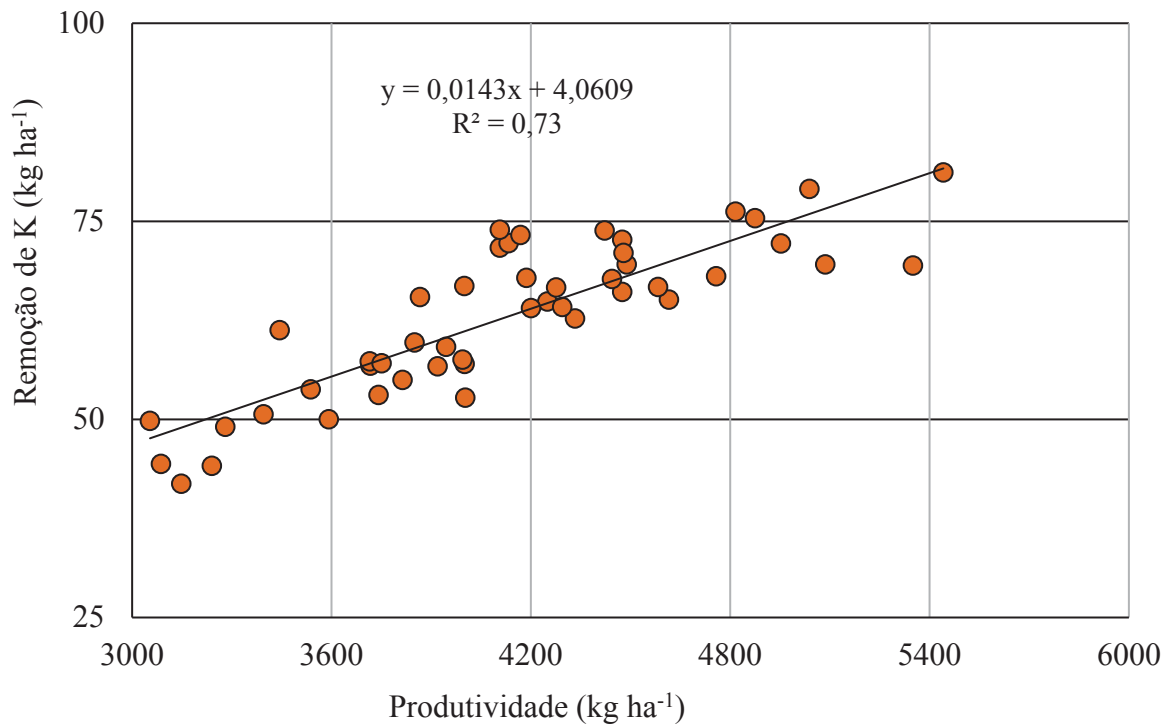


Figura 4 - Remoção de K em função da produtividade de grãos.

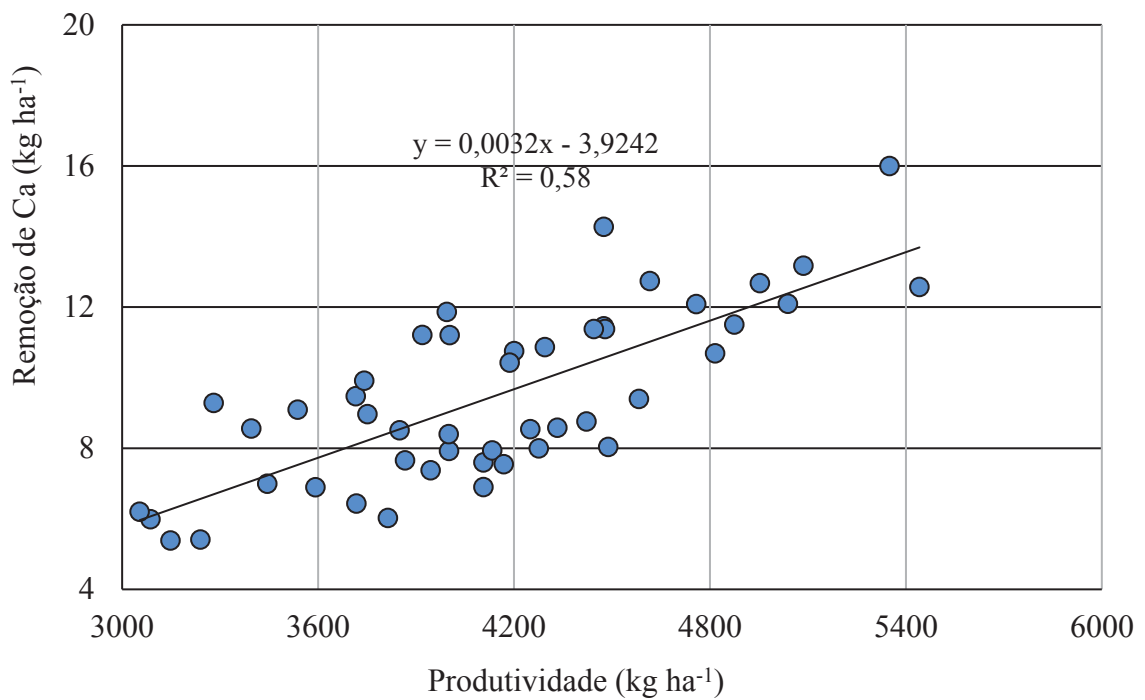


Figura 5 - Remoção de Ca em função da produtividade de grãos.

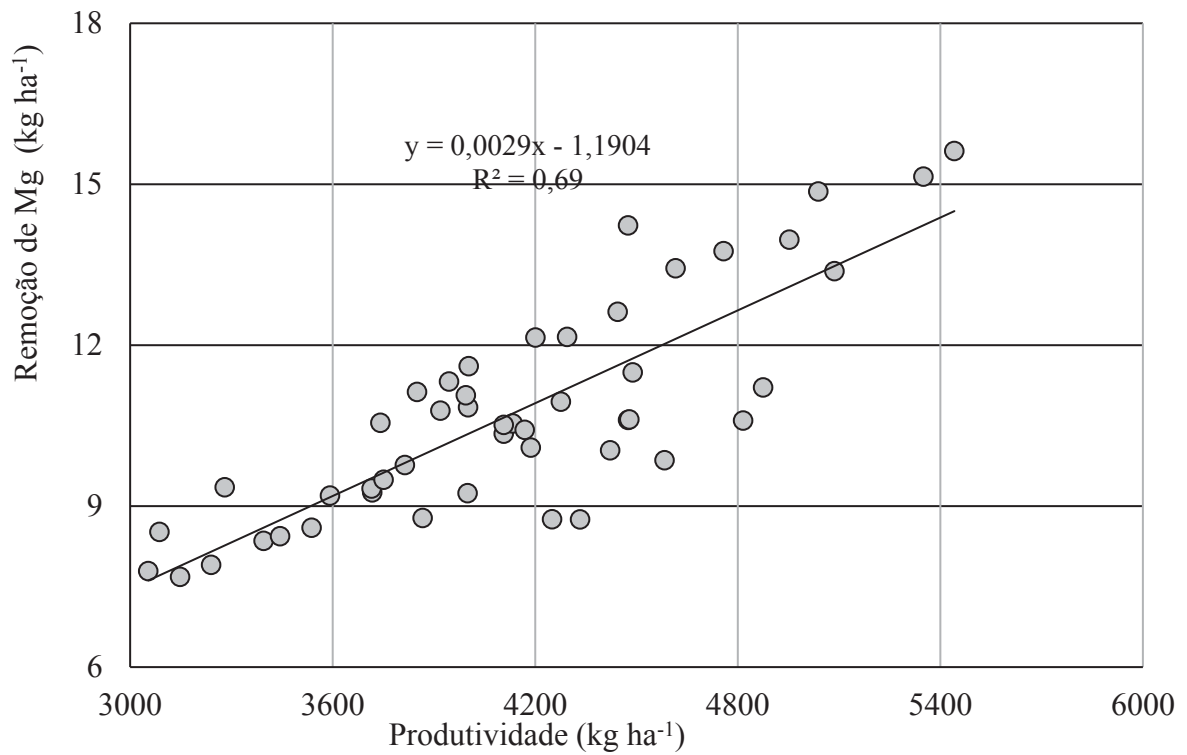


Figura 6 - Remoção de Mg em função da produtividade de grãos.

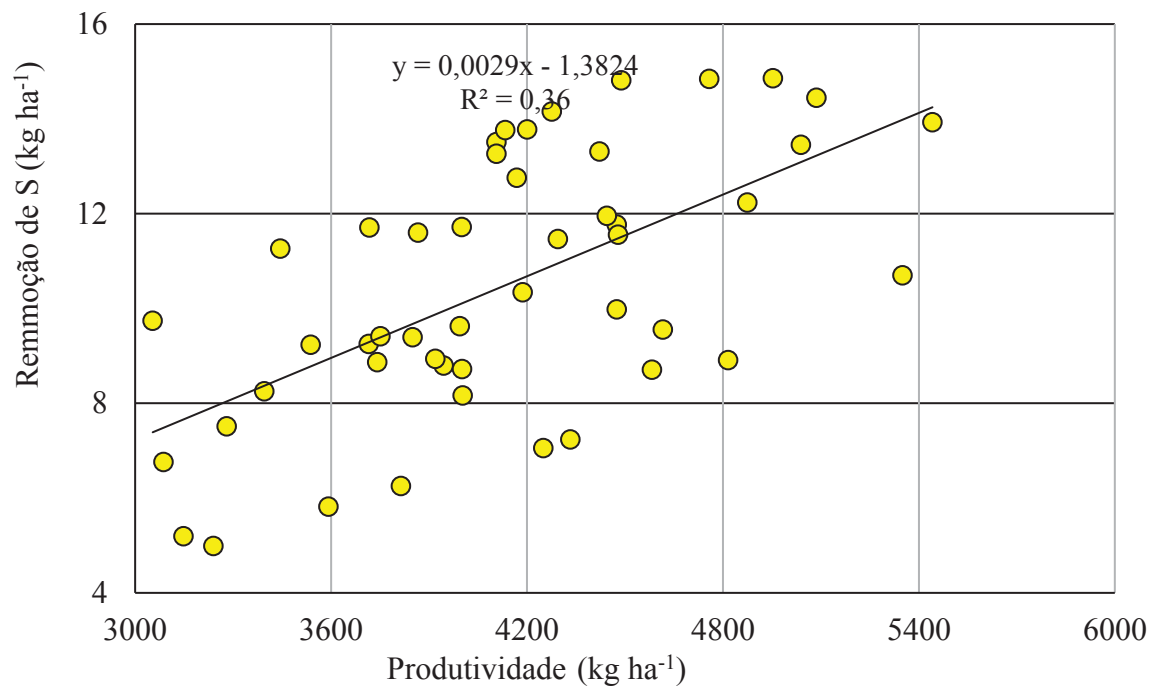


Figura 7 - Remoção de S em função da produtividade de grãos.

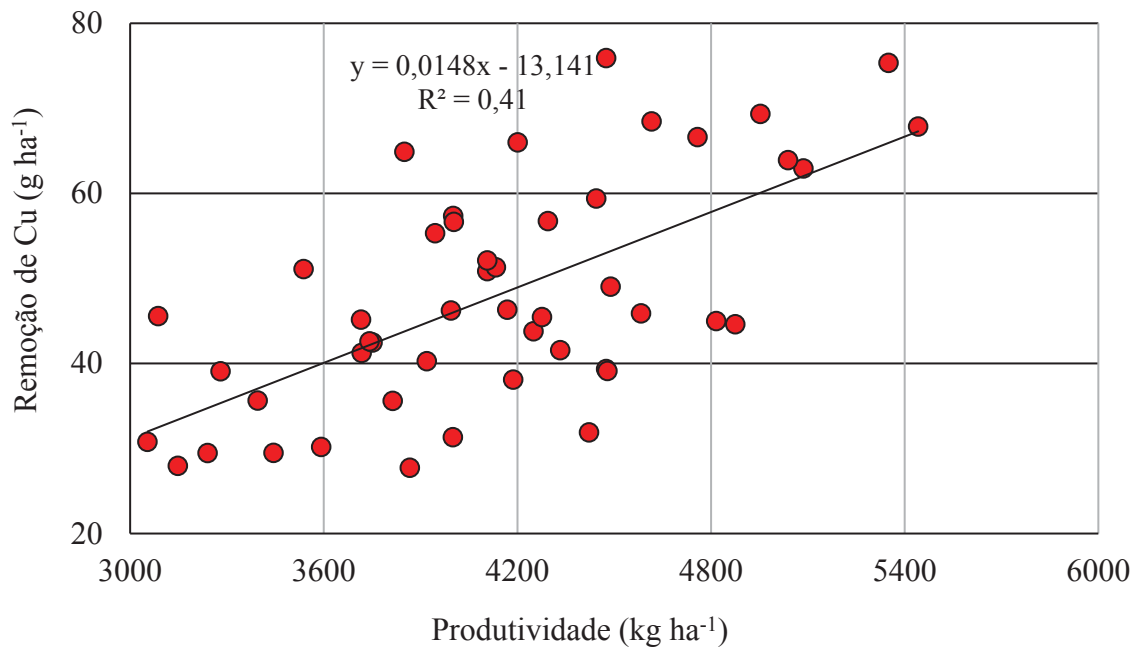


Figura 8 - Remoção de Cu em função da produtividade de grãos.

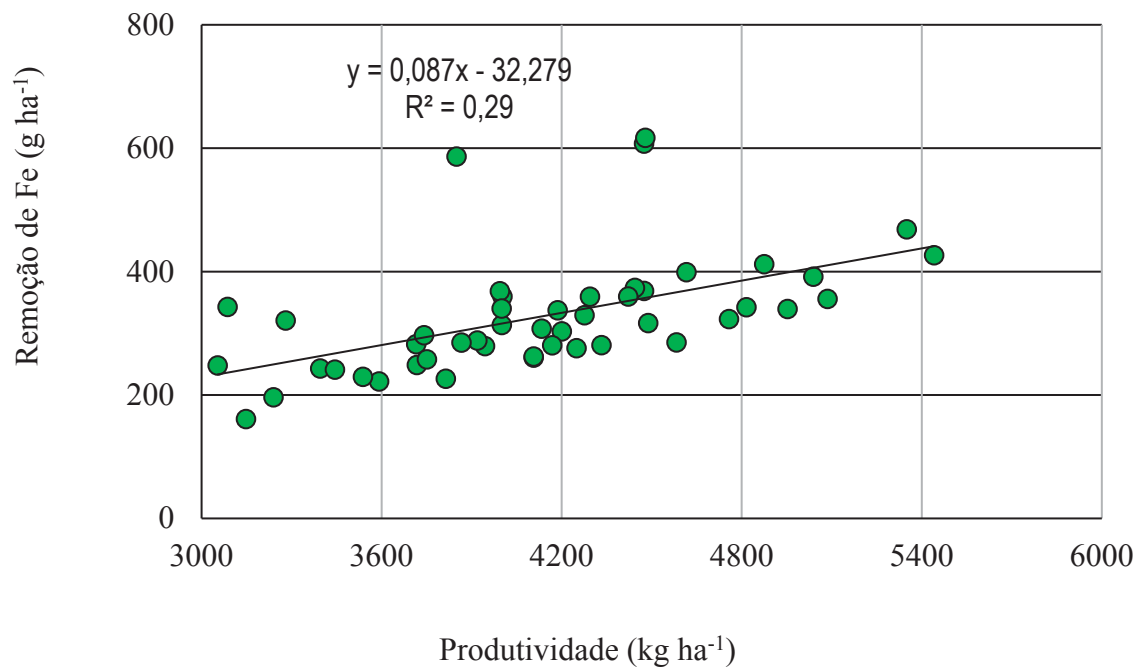


Figura 9 - Remoção de Fe em função da produtividade de grãos.

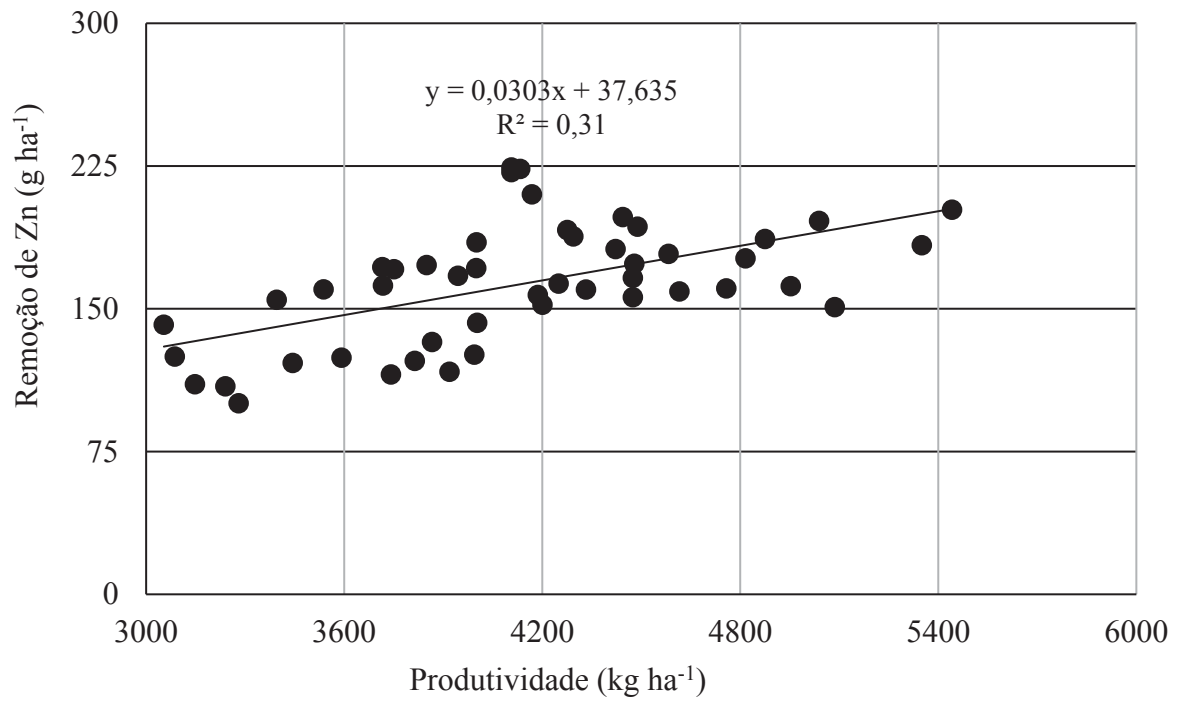


Figura 10 - Remoção de Zn em função da produtividade de grãos.

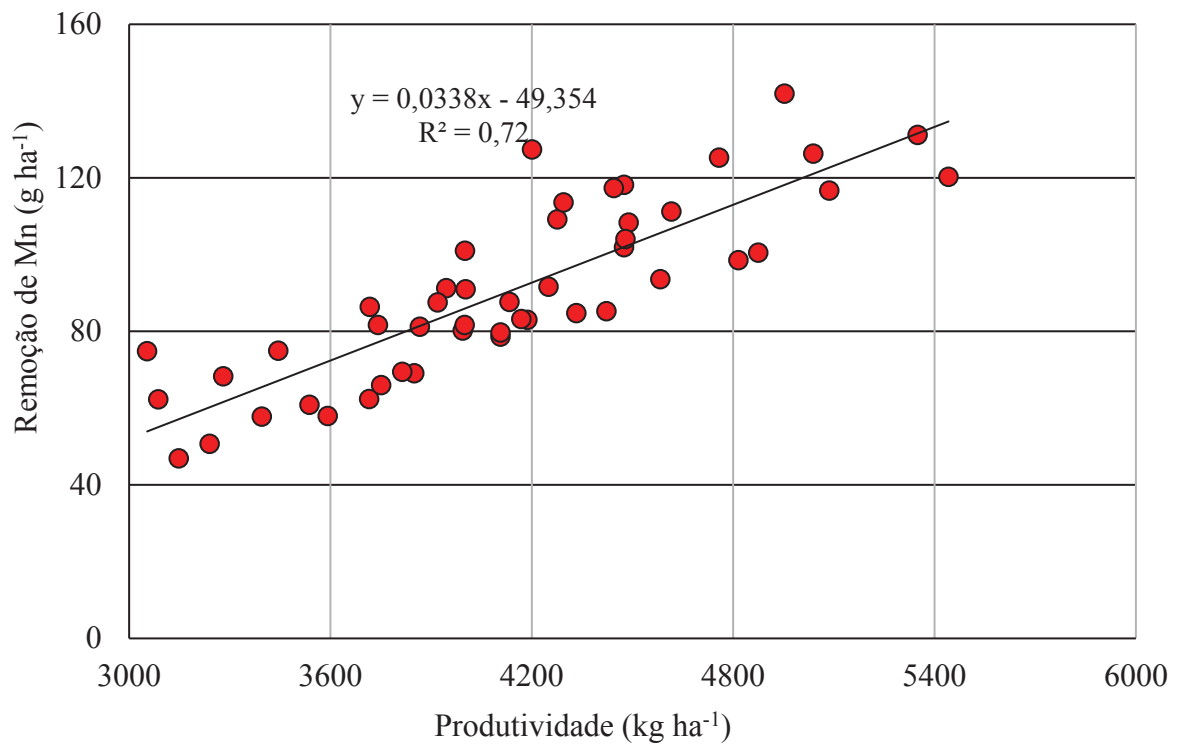


Figura 11 - Remoção de Mn em função da produtividade de grãos.

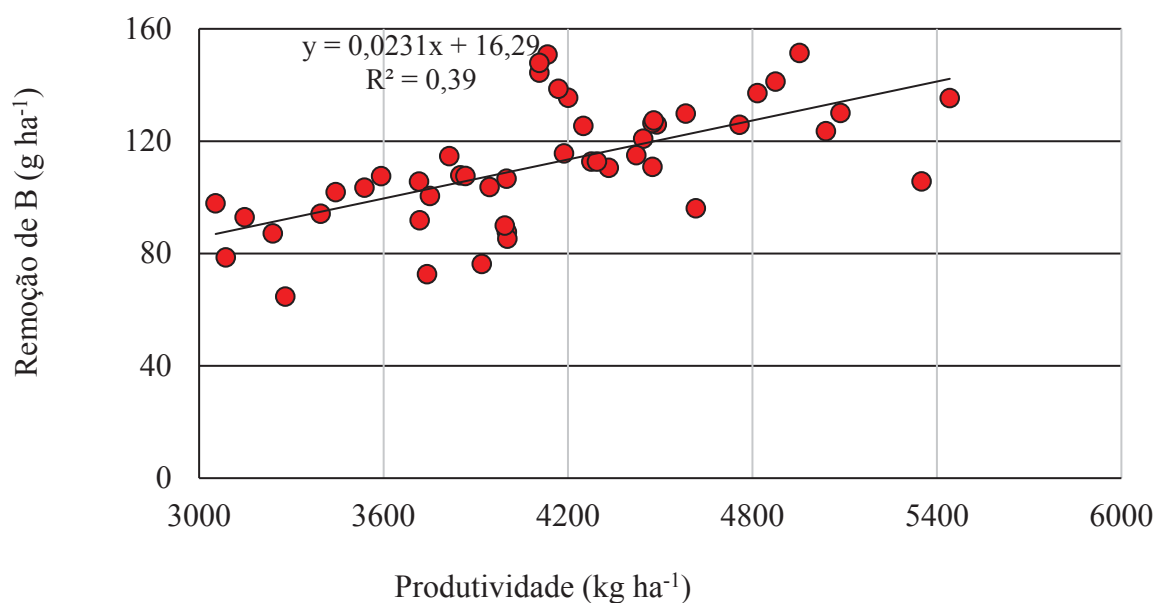


Figura 12 - Remoção de B em função da produtividade de grãos.

1.3.2 Índice de colheita aparente e remobilização de nutrientes

O índice de colheita aparente mostrou pouca variação entre os locais e raramente excedeu 40 % ou seja, 40 % da biomassa da planta é alocado no grão e o restante de palha (Tabela 7).

Tabela 7 - Índice de colheita aparente e remobilização de nutrientes dos ensaios conduzidos em Castro, Mamborê, Montividiu e Primavera do Leste.

Nutrientes ¹	Índice de colheita			
	Castro	Mamborê	Montividiu	Primavera L.
	-----%-----			
Biomassa	40	39	40	40
N	68	70	67	84
P ₂ O ₅	65	66	65	78
K ₂ O	38	35	38	41
Ca	13	16	14	15
Mg	33	34	27	34
S	61	67	55	73

	------%-----			
Zn	64	66	64	68
Mn	45	31	34	42
B	51	53	47	52
Fe	39	34	51	44
Cu	53	46	54	64

¹Média das três safras 2013/14, 2014/15 e 2015/16

A alta produção de biomassa da parte aérea em Mamborê proporcionou o menor índice de colheita (Tabela 7) devido a diminuição na razão rendimento de grão e biomassa da parte aérea, isto implica dizer que fatores que afetam a acumulação de biomassa da parte aérea e produtividade de grãos influenciam o índice de colheita, essa tendência pode ser confirmada pela correlação entre índice de colheita e precipitação e índice colheita e população de planta.

A remobilização de nutrientes para os grãos foi $\geq 50\%$ para N, P, S, Zn, Cu, $\geq 30\%$ Mg, K, Mn, B, Fe e Ca $\leq 20\%$. As maiores taxas de remobilização ocorreram Primavera do Leste (MT), porém não ocorreu diferenças expressivas entre os demais locais. Em geral, a remobilização de nutrientes apresentou a seguinte ordem: $N > P > Zn > S$, independente do local. Os demais nutrientes variaram sua sequência conforme a fazenda (Tabela 7). De maneira geral verificou que a translocação de S e micronutrientes para o grão foram superiores quando comparando com resultados da literatura, esse fato pode estar relacionado a dois processos: (1) mudança no particionamento de nutrientes para grãos e/ou (2) remobilização de nutrientes de tecidos de folhas, caule ou flor e vagem (BRENDER et al., 2015). Esse aumento na translocação de S, Zn, Mn, B, Fe e Cu contribuem para maior retirada e conseqüentemente uma menor ciclagem desses nutrientes pelas folhas senescentes e pelos resíduos no final do cultivo. A remobilização de N, P, S, Mn, B, Zn e Cu foram superiores ao índice de colheita na maioria dos casos (Tabela 6) indicando que a translocação de nutriente para formação dos grãos é mais intensa que a própria translocação de fotoassimilados (ARAÚJO e TEIXEIRA, 2003), para Ca, Mg, K e Fe a translocação é menor indicando a menor força do dreno para esses nutrientes durante a formação das sementes de soja.

1.3.3 Concentrações de nutrientes na folha diagnose e grãos

Os teores nutrientes na folha diagnose apresentaram variações (**Tabela 8**), sendo que os teores médio de N, P, K, Ca, Mg e S na folha diagnose foi de 50,9; 3,3; 22,9; 9,0; 3,6 e 2,4 g kg⁻¹, respectivamente. Para Zn, Mn, Fe, Cu e B os teores de nutriente na folha foi de 41,5; 43,7; 119,2; 10,2 e 46,2 mg kg⁻¹, respectivamente (Tabela 8).

Tabela 8 - Faixa de suficiência de nutrientes para soja e teores de nutrientes na folha diagnose e valores máximos e mínimos das safras 2013/2014, 2014/2015 e 2015/16.

Nutrientes	Amplitude	Teor médio	Embrapa Soja (2011)
-----g kg ⁻¹ -----			
N	41 – 62	50,9	45 – 55
P	2,6 - 4,3	3,3	2,5 – 5,0
K	17,6 - 30,5	22,9	17 – 25
Ca	5,1 - 12,5	9,0	3,5 – 20
Mg	2,6 - 4,6	3,6	2,5 – 10
S	1,8 - 3,1	2,4	2,0 – 4,0
-----mg kg ⁻¹ -----			
B	31 - 72,3	46,2	20 – 55
Cu	7,2 – 18	10,2	6 – 14
Fe	69,1 - 239,9	119,2	50 – 350
Mn	22,7 - 111,7	43,7	20 – 100
Zn	18,7 - 68,6	41,5	5 – 75

De maneira geral os teores de nutrientes na folha diagnose estavam adequados, exceto para N em Montividiu (nas três safras) e K em Primavera do Leste (safra 2015/16) que estavam acima dos níveis adequados (Tabela 9). O teor de S em Castro (2013/14), Mambore (2013/14) e Primavera do Leste (2015/16) estão abaixo dos níveis da faixa de suficiência (Tabela 9). As deficiências de S podem estar associados a utilização constante de fertilizantes concentrados de NPK (Superfosfato triplo e monoamônio fosfato – MAP), que não contem S em sua composição. Além disso, os altos índices de precipitações podem ter provocado a lixiviação dos sulfatos para camadas mais profundas do solo.

Alguns agricultores vêm realizando o fornecimento de enxofre através do S0 (enxofre elementar) com argila expansiva, o qual é aplicado ao solo e disponibiliza S na forma de Sulfato de forma gradual, coincidindo com a marcha de absorção de nutriente, aumentando, portanto, a eficiência no uso do enxofre. Além disso outra tecnologia que vem sendo muito utilizada principalmente em áreas do centro oeste são pastilhas de S elementar que contém boro, fornecendo ambos os nutrientes de forma gradual durante o ciclo da cultura.

Tabela 9 - Teores médio de nutrientes na folha diagnose nos locais onde os experimentos foram conduzidos durante das três safras 2013/14, 2014/15 e 2015/16

Local	Safra	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Mn	Fe	Cu	B	
		-----g kg ⁻¹ -----						-----mg kg ⁻¹ -----					
Castro	2013/14	50	3	25	8	4	2	37	23	88	10	31	
	2014/15	45	3	25	10	4	2	43	29	70	8	40	
	2015/16	42	2	22	9	2	2	31	33	90	8	31	
Mambore	2013/14	55	3	20	12	4	2	33	51	167	18	32	
	2014/15	42	3	25	11	4	2	22	35	240	11	72	
	2015/16	45	2	21	12	3	2	19	31	127	7	31	
Montividiu	2013/14	56	4	22	7	3	2	68	111	125	16	47	
	2014/15	57	4	21	9	4	3	50	30	95	10	45	
	2015/16	62	4	24	8	3	3	41	45	105	7	72	
Primavera L.	2013/14	55	3	17	5	4	2	42	51	136	9	48	
	2014/15	55	4	19	8	4	3	59	35	104	9	45	
	2015/16	45	3	30	7	3	2	52	50	82	8	61	

Os teores de N, P, S, Zn, Mn e B foram superiores nas fazendas do Centro Oeste (Montividiu e Primavera do Leste) em comparação com fazendas da região Sul (Castro e Mambore). Para Ca e Mg os teores foram superiores nas fazendas da região sul em comparação com o Centro Oeste. As diferenças nos teores de nutrientes entre locais estão relacionada às condições climáticas, as cultivares e as práticas agrícolas.

As concentrações de N, P, K, Mg e S no grão tiveram variações entre fazendas e safras (Tabela 10), sendo que os teores médios de N, P, K, Ca, Mg e S no grão foi de 60,6; 4,72; 15,2;

2,27; 2,6 ; 2,5 g kg⁻¹, respectivamente. Para Zn, Mn, Fe, Cu e B os teores de nutrientes no grão foi de 39,6; 21,6; 79,0; 11,5; 27,1 mg kg⁻¹, respectivamente. Os teores de macronutrientes no grão independente da fazenda e safra obedeceu a seguinte ordem de grandeza N > K > P > Mg > Ca = S. Para os micronutrientes a ordem foi Fe > Zn > B > Mn > Cu.

Tabela 10 - Faixa de suficiência de nutrientes para soja e teores de nutrientes no grão e valores máximos e mínimos das safras 2013/2014, 2014/2015 e 2015/16

Nutrientes	Amplitude	Teor médio	Literatura ¹
	-----g kg ⁻¹ -----		
N	56,6 – 67,9	60,6	57,4 – 64,3
P	4,1 – 5,4	4,7	4,6 – 6,2
K	13 – 18	15,3	11,9 – 22,5
Ca	1,6 – 3,2	2,3	1,6 – 5,3
Mg	2,0 – 3,2	2,6	1,8 – 2,9
S	1,5 - 3,3	2,5	1,9 – 3,5
	-----mg kg ⁻¹ -----		
B	19,4 – 36,5	27,1	22,6 – 31,2
Cu	7,2 – 17	11,5	6 – 14
Fe	51,2 – 152,3	79,1	50 – 350
Mn	14,9 – 30,3	21,6	20 – 100
Zn	29,7 - 54,6	39,5	5 – 75

¹ Teores de nutrientes médio nos grãos: Bataglia et al., 1976; Caires et al., 2001; Mallarino et al., 2011; Brender et al., 2015; Gaspar, 2016; Bruns, 2016.

Apesar do aumento no rendimento de grãos os teores de nutrientes no grão em pesquisas antigas (BATTAGLIA et al., 1976; MASCARENHAS et al., 1980; KURIHARA, 2004) são superiores quando comparado com os atuais cultivos (Tabela 9). A diminuição nos teores de nutrientes no grão parece estar relacionado ao efeito de diluição/concentração em função do aumento no rendimento de grãos, principalmente em Mambore e Montividiu. Em consequência o rendimento de grão é o principal fator que explica o aumento na remoção de nutrientes pelos grãos em cultivos atuais.

1.4 CONCLUSÕES

Ao longo de décadas de cultivo da soja, estabeleceu-se um processo de melhoria das condições de cultivo devido o melhoramento genético e pelas práticas de manejo adequadas, sendo que as estratégias atuais de manejo associado ao plantio de cultivares melhorada aumentou a frequência de produtores atingido rendimento superior 5000 kg ha^{-1} . Com os aumento de altos patamares de produtividade da cultura consequentemente houve aumento na absorção de macronutrientes (kg t^{-1}) N = 95, P = 7,5; K = 44; e micronutrientes (g t^{-1}) Zn = 66; Mn = 69; B = 73; Fe = 257 e Cu = 21). Na remoção de macronutrientes (kg t^{-1}) N= 60; P = 4,7; K 15,3; Mg = 2,6 e micronutrientes (g t^{-1}) B = 27 e Mn = 21,6) e translocação principalmente do S. No entanto, a concentração e a quantidade nutrientes absorvidos em áreas de alto rendimento de soja não apresentou correlação com os níveis de rendimento e com a quantidade de nutrientes removidos pelos grãos, além disso não houve grande variações na concentrações de nutrientes na folha diagnose em relação a manuais de recomendações de adubação e avaliação do estado nutricional. As fazendas localizadas na região tiveram maiores taxas de absorção, remoção e translocação de nutrientes em comparação à região Centro Oeste sendo principalmente devido ao manejo do solo e as condições climáticas.

1.5 REFERENCIAS

- ARAÚJO, A.P. e TEIXEIRA, M.G. **Nitrogen and phosphorus harvest indices of common bean cultivars**: implications for yield quantity and quality. **Plant Soil**, v. 257, p. 425-433, 2003.
- KURIHARA C. H. **Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional**. (Tese) de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 100p, 2004.
- CESB – Comitê Estratégico **Soja Brasil**. Disponível em: <<http://www.desafiosoja.com.br>>. Acesso em 20 set. 2016.
- MASCARENHAS, H.A.A.; NEPTUNE, A.M.L.; MURAOKA, T.; BULISANI, E.A. & HIROCE, R. Absorção de nutrientes por cultivares de soja (*Glycine max(L.) Merrill*). **Revista Brasileira Ciência do Solo**. v. 4, p. 92-96, 1980.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção Agrícola, 2014/15**. Disponível Em: www.Ibge.Gov.Br/Home/Estatistica/Indicadores/Agropecuaria/Lspa Acesso: 18 Out. 2015.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; PASCOALINO, J. A. L.; SAKO, H.; DANTAS, J.P.S.; MORAES, M.F. Soybean yield gap in the areas of yield contest in Brazil. **International Journal of Plant Production**. v. 12, p. 159 – 168, 2018.
- SENTELHAS, P.C.; BATTISTI, R.; SAKO, H.; ZENI, R.; RODRIGUES, L.A. (2017). Clima e produtividade da soja: variabilidade climática e controle da produtividade. **Boletim de Pesquisa Fundação Mato Grosso**, v. 537, p.26 -41, 2017.
- CUI, S.Y.; YU, D.Y. Estimates of relative contribution of biomass, harvest index and yield components to soybean yield improvements in China. **Plant Breeding**. v. 124, 473 – 476, 2005.
- LIU, G.; YANG, C.; XU, K.; ZHIANG, Z.; DAYONG L.; ZHIHAI, W.; ZHANYU, C.; Development of yield and some photosynthetic characteristics during 82 years of genetic improvement of soybean genotypes in northeast China. — **Australian Journal Crop Science**. v. 6, n. 10, p. 1416–1422, 2012.
- GASPAR, A.; LABOSKI, C.; NAVE, S.; CONLEY, S. Dry matter and nitrogen uptake, partitioning, and removal across a wide range of soybean seed yield levels. **Crop Science**. vol 57, p. 2170 – 2182, 2017.
- BALBOA, G. R.; SADRAS, V. O.; CIAMPITTI, I. A. Shifts in soybean yield, nutrient uptake, and nutrient stoichiometry: A historical synthesis-analysis. **Crop Science**, v. 58, p. 43-54, 2018.
- CUBBAGE, S., 2010. World soybean yied record shttered – Again. **Missouri Soybean Farmer**, vol. 15. Missouri Soybean Association, Jefferson City, pp. 6 – 7, Also available at <http://mosoy.org/wp-content/uploads/news/WEB%20PDF-%20DEC%2010.pdf> Acesso em 20 set. 2016.
- ORLOWSKI, J.M.; GREGG, G.L.; LEE, C.D. Early -season lactofen application has limited effect on soybean branch and mainstem yield componentes. **Crop Science**. vol 56, p. 432 – 438, 2016.

FOULKES, M.J; REYNOLDS, M.P.; SYLVESTER, B. R Genetic improvement of grain crop: Yield potential. In Crop Physiology: **Applications for Genetic Improvement and Agronomy**. SANDRAS, V.O and CALDERINI, D.F (Eds.), p. 355 – 385 Elsevier, Burlington, MA, 2009.

HARTMAN, L.G.; WEST, E.D.; HERMAN, T.K. Crops that Feed the World 2. Soybean Worldwide Production, Use and Constraints caused by Pathogens and pests. **Food Security**. v. 3 p.5 – 17, 2011.

HOUX, J.H.; WIEBOLD, W.J.; FRITSCHI, F.B.; Rotation and tillage affect soybean grain composition yield and nutriente removal. **Field Crops Research**. v. 164, p. 12 – 21, 2014.

JIN, J.; LIU, K.; WANG, G.; MI, L.; SHEN, Z.; CHEN, X.; HERBERT, S.J. Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China. **Field Crops Research**. vol. 115, p. 116 – 123, 2010.

KOESTER, R.P.; SKONECZKA, J.A.; DIERS, B.W.; AUBSWIRTG E.A. Historic gains in soybean seed yield are driven by linear increases in light interception, energy conversion, and partitioning efficiencies. **Journal of Experimental Botany**. v. 65 p. 3311–3321, 2014.

TOLIVER, D.K.; LARSON, J.A; ROBERTS, R.K.; ENGLISH, B.C.; UGARTE, D.G.L.T, WEST, T.O. Effects of No-Till on Yields as Influenced by Crop and Environmental Factors. **Agronomy Journal**. v. 104, p. 530 – 541, 2012.

RATTALINO EDREIRA, R.J.I.; MOURTZINIS, S.; CONLEY, S.P.; ROTH, A.C.; CIAMPITTI, I.A.; LICHT, M.A.; KANDEL, H.; KYVERYGA, P.M.; LINDSEY, L.E.; MUELLER, D.S.; NAEVE, S.L.; NAFZIGER, E.; STANLEY, J.; STATON, M.J.; GRASSINI, P. Assessing causes of yield gaps in agricultural areas with diversity in climate and soils. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 247 p. 170–180, 2017.

PERINI, L. J.; FONSECA JÚNIOR, N. S.; DESTRO, D.; PRETE, C. E. C. Componentes da produção em cultivares de soja com crescimento determinado e indeterminado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, p. 2531-2544, 2012.

BATAGLIA, O.C.; MASCARENHAS, H.A.A., TEIXEIRA, J.P.F., TISSELI, F..Acúmulo de matéria seca e nutrientes, em soja cultivar Santa-Rosa. **Bragantia**. v.35, p. 237–247, 1976.

BENDER, R.R., HAEGELE, J.W., BELOW, F.E., 2015. Nutrient Uptake, Partitioning, and Remobilization in Modern Soybean Varieties. **Agronomy Journal**. v. 107, p. 563 – 573, 2015.

BONETTI, L. P. **Distribuição da soja no mundo: origem, história e distribuição**. In: Miyasaka, S.; Medina, J.C. (Ed.). A soja no Brasil. Campinas: ITAL, p. 1-6, 1981.

BORST, H.L., and THATCHER, L.E. Life history and composition of the soybean plant. Bull. 494. **Ohio Agricultural Experiment Station**. Stn., Wooster. p. 51–96, 1931.

BREMMER, J.M; EDWARD, H.P. Determination and isotope ratio analysis of diferente from of nitrogen in soils. I. Appratus and procedures for destination and determination for ammonium. Soil Science Society of America. **Proccedings**, Madison, 5, p.504-507, Sept. 1965.

EMBRAPA, Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. In: **Tecnologias De Produção De Soja. Região Central do Brasil 2012 e 2013**, Embrapa Soja, Londrina, pp. 261, 2011.

FEHR, W.R., CAVINESS, C.E., 1977. **Stages of Soybean Development**. Cooperative Extension Service. Iowa Agric. Home. Exp. Stn. Special Report. 87. Iowa State University, 1977.

FLANNERY, R.L.. **The use of maximum yield research technology in soybean production**. In: Munson, R. (Ed.), *The Physiology, Biochemistry, Nutrition, and Bioengineering of Soybeans: Implications for Future Management*. PPI/PPIC, Nacross, GA, pp. 160–174, 1989.

HAMMOND, L. C.; BLACK, C. A.; NORMAN, A. G. "Nutrient uptake by soybeans on two Iowa soils," **Research Bulletin (Iowa Agriculture and Home Economics Experiment Station)**: v. 30, p.463 - 498, 1951.

HANWAY, J.J. and WEBER, C.R. Accumulation of N, P, and K by soybean [*Glycine max (L.) Merrill*] plants. **Agronomy Journal**. v. 63, p. 406–408, 1971a.

HANWAY, J.J. and WEBER, C.R. Dry Matter accumulation in eight Soybean (*Glycine max (L.) Merrill*) varieties. **Agronomy Journal**. v.63, p. 227 – 230, 1971b.

HANWAY, J.J. and WEBER, C.R. Dry matter accumulation in soybean (*Glycine max (L.) Merrill*) plants as influenced by N, P, and K fertilization. **Agronomy Journal**. v. 63 p. 263 – 266, 1971c.

HARPER, J.E. Seasonal nutrient uptake and accumulation pat-terns in soybeans. **Crop Science**. v. 11, p. 347 – 350, 1971.

HANWAY, J.J., and C.R. Weber. 1971b. **Dry matter accumulation in eight soybean (*Glycine max (L.) Merrill*) varieties**. *Agron. J.* 63:227–230. doi:10.2134/agronj1971.00021962006300020009x

HANWAY, J.J., Dunphy, E.J., Loberg, G.L., Shibles, R.M., State, I., 1984. **Dry weights and chemical composition of soybean plant parts throughout the growing season**. *J. Plant Nutr.* 7, 1453–1475. doi:10.1080/01904168409363294.

IRWIN, S., and D. Good. "Forming Expectations for the 2015 U.S. **Average Corn Yield: What Does History Teach Us?**" *farmdoc daily* (5):36, Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois at Urbana-Champaign, February 26, 2015.

JIN J, Liu K, Wang G, Mi L, Shen Z, Chen X, Herbert SJ. 2010. **Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China**. *Field Crops Research* 115, 116–123.

KANTOLIC, A.G., Slafer, G.A., 2007. **Development and seed number in indeterminate soybean as affected by timing and duration of exposure to long photoperiods after flowering**. *Ann. Bot.* 99, 925–933.

KIIHL, R.A.S. & A. Garcia. **The use of the long juvenile trait in breeding soybean cultivars.** In: Conferencia Mundial de Investigacion en Soja, 4. Buenos Aires, Argentina. 1989. Actas. A.J. Pascale (ed.). p.994-1000.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** Piracicaba: POTAFÓS, p. 319, 1997.

PADOVAN, M.P., Lopes De Almeida, D., Marinho Guerra, J.G., Duarte Ribeiro, R.D.L., Ndiaye, A., 2002. **Avaliação de cultivares de soja, sob manejo orgânico, para fins de adubação verde e produção de grãos.** Pesqui. Agropecu. Bras. 37, 1705–1710. doi:10.1590/S0100-204X2002001200005

SINCLAIR, T. R. **Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation.** Crop. science, v. 38, p. 638-643, 1998.

SPECHT, J. E., Hume, D. J. and Kumudini, S. V. (1999). **Soybean yield potential a genetic and physiological perspective.** Crop Science, 39, 1560–1570.

USDA-National Agricultural Statistics Service, 2016. **Quick Stats 2.0.** U.S. and World Data agriculture. USDA-NASS, Washington, DC.

VAN ROEKEL, R.J., Purcell, L.C., 2014. **Soybean biomass and nitrogen accumulation rates and radiation use efficiency in a maximum yield environment.** Crop Sci. 54, 1189–1196.

3.0 CAPITULO II : ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO DE ALTA PRODUTIVIDADE DE SOJA

RESUMO

Os nutrientes do solo são absorvidos pelas raízes das plantas através da rizosfera, que é a zona de transição entre a raiz e o solo. Portanto, os processos da rizosfera têm grande influência nos ciclos biogeoquímicos de nutrientes, sua solubilidade, transporte no solo e conseqüentemente na absorção e alocação de nutrientes pelas plantas. Este estudo teve como objetivo avaliar os atributos químicos em solo rizosférico e não rizosférico e o acúmulo de nutrientes na parte aérea e grãos em três áreas de alta produtividade no estado do Paraná. O experimento foi realizado na safra 2015/16 em áreas comerciais localizada no município de Mamborê, Castro e Ponta Grossa no estado do Paraná, sul do Brasil. As parcelas foram delimitadas ao acaso, em metade delas, denominadas parcelas com plantas de solo rizosférico (SR), as plantas foram mantidas, na outra metade denominada parcelas sem plantas de solo não rizosférico (SNR) as plantas foram arrancadas em V4 e o solo mantido limpo, para evitar a influência da rizosfera de quaisquer plantas exposta. Cada parcela se caracterizou como uma repetição. Após a colheita (R8) realizou-se coleta de amostras 5 sub-amostras (uma composta), por parcela na camada de 0 -20 cm para caracterização dos atributos químicos (pH CaCl₂, Ca, Mg, K, P, C, Cu, Fe, Zn, Mn, NH₄⁺, NO₃⁻) na fração do solo rizosférico e não rizosférico. De maneira geral a composição química do SR do SNR apresentou variações nos atributos químicos do solo sendo que o C, NO₃⁻, NH₄⁺, Fe e Cu foram superiores no SR em comparação ao SNR, ou seja houve ocorrência de acúmulo desses nutrientes na fração rizosférica, fato justificado devido à exsudação de ácidos orgânicos, mucilagens pelas plantas e pela atividade microbiana da rizosfera que altera a concentração e a absorção de nutrientes para as plantas. No entanto, os nutrientes com mobilidade limitada nos solos como P, K, Fe, Zn e Cu são transportados para raízes por difusão, que é um processo lento. Esses nutrientes tiveram um acúmulo na SNR, sendo que a fração disponível para planta e a concentração na solução no SR pode ser insuficientes para satisfazer os requisitos das plantas. Atributos químicos na grande maioria dos casos não apresentaram diferenças significativas entre as fazendas, sendo que as pequenas variações encontradas entre as fazendas pode ser justificada pela composição do exsudado que varia com o material genético, as condições edafoclimáticas, metabolismo e o estado nutricional da planta. As diferenças nos atributos químicos entre as frações do solo confirmam a hipótese de que a análise de rotina não representa o que realmente está ocorrendo na interface raiz solo e fornece apenas uma aproximação da fração realmente disponível de nutrientes. Portanto, o entendimento da dinâmica de nutrientes na rizosfera em áreas com alto rendimento contribui para o refinamento do manejo nutricional da cultura, pela recomendação racional de fertilizantes, visando assim, a manutenção da fertilidade do solo em níveis adequados.

Palavras-chave: *Glycine Max*. Efeito Rizosférico. Absorção de Nutrientes.

CHAPTER II: CHEMICAL ATTRIBUTES OF SOY HIGH PRODUCTIVITY SOIL

ABSTRACT

Soil nutrients are absorbed by plant roots through the rhizosphere, which is the transition zone between the root and the soil. Therefore, the rhizosphere processes have a great influence on biogeochemical cycles of nutrients, their solubility, transport in the soil and consequently in the absorption and allocation of nutrients by plants. This study aimed to evaluate the chemical attributes in rhizospheric and non-rhizospheric soil and the accumulation of nutrients in the aerial part and grains in three areas of high productivity in the state of Paraná. The experiment was carried out in the 2015/16 harvest in commercial areas located in the municipality of Mamborê, Castro and Ponta Grossa in the state of Paraná, southern Brazil. The plots were delimited at random, in half of them, called plots with rhizospheric soil (SR) plants, the plants were kept, in the other half called plots without non-rhizospheric soil plants (SNR), the plants were uprooted in V4 and the soil kept clean, to avoid the rhizosphere influence of any exposed plants. Each plot was characterized as a repetition. After harvesting (R8), 5 sub-samples (one compound) were collected, per portion in the 0 -20 cm layer to characterize the chemical attributes (pH CaCl₂, Ca, Mg, K, P, C, Cu, Fe, Zn, Mn, NH₄⁺, NO₃⁻) in the fraction of rhizospheric and non-rhizospheric soil. In general, the chemical composition of the SR of the SNR showed variations in the chemical attributes of the soil, whereas the C, NO₃⁻, NH₄⁺, Fe and Cu were higher in the SR compared to the SNR, that is, there was an accumulation of these nutrients in the rhizospheric fraction, justified fact due to the exudation of organic acids, mucilages by the plants and by the microbiological activity of the rhizosphere that alters the concentration and absorption of nutrients for the plants. However, nutrients with limited mobility in soils such as P, K, Fe, Zn and Cu are transported to roots by diffusion, which is a slow process. These nutrients had an accumulation in the SNR, and the fraction available to the plant and the concentration in the solution in the SR may be insufficient to satisfy the requirements of the plants. Chemical attributes in the vast majority of cases did not show significant differences between the farms, and the small variations found between the farms can be justified by the composition of the exudate that varies with the genetic material, the edaphoclimatic conditions, metabolism and the nutritional status of the plant. The differences in chemical attributes between the soil fractions confirm the hypothesis that the routine analysis does not represent what is actually occurring at the root root interface and provides only an approximation of the actually available fraction of nutrients. Therefore, the understanding of the dynamics of nutrients in the rhizosphere in areas with high yields contributes to the refinement of the nutritional management of the crop, through the rational recommendation of fertilizers, thus aiming at maintaining soil fertility at adequate levels.

Keywords: *Glycine Max.* Rhizosphere Effect. Uptake Nutrients.

2.1 INTRODUÇÃO

Os nutrientes do solo são absorvidos pelas raízes das plantas através da rizosfera, que é a zona de transição entre a raiz e o solo (SHEN et al., 2013). Portanto, os processos da rizosfera têm grande influência nos ciclos biogeoquímicos de nutrientes, sua solubilidade, transporte no solo e conseqüentemente na absorção e alocação de nutrientes pelas plantas.

No solo rizosférico as raízes e os microrganismos provocam alterações nos atributos químicos (CORDEIRO et al., 2012; DOTANIVA E MEENA, 2015; ZHAO et al., 2010) e biológicos (MENDES et al., 2014) alterando a concentração e a disponibilidade de nutrientes para as plantas. A composição química do solo rizosférico difere do solo não rizosférico em virtude, principalmente, da absorção de água e nutrientes, das mudanças no pH da rizosfera, da exsudação de açúcares, ácidos orgânicos e vitaminas pelas raízes das plantas. No entanto, a composição do exsudado varia com o material genético (TANIKAWA et al., 2014), a idade da planta, metabolismo e o estado nutricional da planta. Os Genótipos vegetais diferem na capacidade de converter formas não disponíveis de nutrientes em disponíveis. Entre os mecanismos para disponibilizar os nutrientes incluem: diferenças na área superficial de contato entre raízes e solo (SADANA et al., 2002) e na composição e quantidade de exsudatos de raiz (RENGEL, 2002; JONES et al., 2004) e microflora rizosférica (MENDES et al., 2014), resultando em diferenças na química e biologia da rizosfera. Portanto, a análise química padrão do solo não é muito representativa do que realmente está ocorrendo na interface raiz solo e fornece apenas uma aproximação da fração realmente disponível de nutrientes.

Nas últimas décadas houve grandes progressos para compreender a influência dos processos da rizosfera na nutrição das plantas como alterações no pH do solo (SOUZA et al., 2010), efeito da rotação de culturas de inverno sobre seqüências de verão (CORDEIRO et al., 2012), das micorrizas (BENIZRI et al., 2002), produção de quelatos (JONES e KOCHIAN, 1996), enzimas por raízes e bactérias levando a mineralização de P (WALTER e VEGA, 2007).

O conhecimento da química da rizosférica é essencial para determinar a mobilidade e disponibilidade do nutriente em solos (WANG et al., 2007). Neste contexto, este estudo teve como objetivo do trabalho foi avaliar os atributos químicos em solo rizosférico e não rizosférico em três áreas de alto rendimento de soja na região Sul do Brasil. A hipótese é que áreas com alta demanda de nutrientes pelas plantas levaria a um aumento na depleção de nutrientes no solo rizosférico em comparação ao solo não rizosférico, mas a variação na depleção poderia variar em função do local, da cultivar e das características químicas do solo.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Descrição das áreas

O experimento foi realizado na safra 2015/16 em áreas comerciais localizada no município de Mamborê (V24°49'S 49°57'W), Castro (25°18'S 50°13'W) e Ponta Grossa (24°36'S 52°56'W) no estado do Paraná, sul do Brasil. O histórico de uso, as características climáticas, e a classificação de solos estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Locais, classificação climática de Köppen, safra, população de plantas (PP), Adubação de base, Adubação de cobertura, Precipitação média e temperatura média.

Local	Clima	Data1	Cultivar	PP2	Adubação base			Adubação cobertura	Precip. M (mm ano ⁻¹)	Temp M (°C ano ⁻¹)
				(pl m ⁻²)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	K ₂ O		
Castro	Cfb	2013/14	Veloz	29	10	75	25	90	1.000	23
Mamborê	Cfa	2013/14	NA 5909 RG	28	22.7	82.8	0	87	1.200	22
Ponta G.	Cfb	2013/14	NA 5909 RG	30	0	192	0	90	1.350	25

Em cada área de cada município, foram delimitadas oito parcelas de seis linhas de 6,0 m de comprimentos. As parcelas foram delimitadas ao acaso, com uma distância de aproximadamente 130 metros uma da outra, para tornar toda área representativa, porém localizadas dentro do talhão da área inscrita no desafio de máxima produtividade.

Em metade delas, denominadas parcelas com plantas de solo rizosférico (SR), as plantas foram mantidas, na outra metade denominada parcelas sem plantas de solo não rizosférico (SNR) as plantas foram arrancadas em V4 e o solo mantido limpo, para evitar a influência da rizosfera de quaisquer plantas exposta. Cada parcela se caracterizou como uma repetição, (Foto 13).



Figura 13 - Parcela sem plantas de solo (esquerda) e solo não rizosférico (direita)

Em todas as áreas foi utilizado o plantio direto. A data de semeadura foi realizada conforme zoneamento agroclimático para cada região e as características dos genótipos. O manejo fitossanitário em todas as propriedades foi realizado conforme recomendações do responsável técnico de cada produtor e detalhes específicos podem ser obtidos junto aos relatórios do CESB (CESB, 2016).

2.2.2 Amostragem do SR e SNR

As amostras de solo foram realizadas na maturação fisiológica (R8). Para a coleta de solo em parcelas sem plantas foi utilizado o trado holandês, sendo coletado na camada de 0-20 cm, na qual a maior parte das raízes distribui-se. Já nas parcelas com plantas foi coletado o solo rizosférico, aderido a raiz, na mesma profundidade. Em ambos os casos foram utilizadas amostras compostas por parcela, sendo obtida de cinco pontos de tradagem ou cinco plantas. Estas amostras foram utilizadas para determinação de nitrato, amônio e atividade microbiológica, sendo imediatamente acondicionadas em isopor com gelo. No mesmo dia da coleta, as amostras para quantificação de nitrato e amônio foram congeladas -20 °C.

2.2.3 Nitrato e amônio

Para extração do nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) foi utilizado 4 g de solo congelado para 40 mL de KCl 2M o suspensão foi agitada por uma hora e filtrada através de papel filtro quantitativo – N° 42 (LAMMEL et al., 2015). A concentração de N inorgânico foi determinado por colorimétrica usando reações Berthelot para NH_4^+ e cloreto de vanadium (III) para NO_3^- (DOANER e HORWATH, 2003).

2.2.4 Análise química do solo

Após a colheita (R8) realizou-se coleta de amostras 5 sub-amostras (uma composta), por parcela na camada de 0 -20 cm para caracterização dos atributos químicos do solo rizosférico e não rizosférico. Foram determinados os seguintes atributos químicos: pH (CaCl₂), pH (SMP), Ca, Mg, K, P, C, Cu, Fe, Zn e Mn conforme PAVAN et al., 1992.

2.2.5 Análise Estatística

Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA). Foi considerado o delineamento aninhado, comparando-se solos rizosférico ou não. Havendo diferença significativa na ANOVA, as médias foram comparadas por teste de Tukey (P<0,05).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os nutrientes com mobilidade limitada nos solos como fosforo (P), potássio (K), ferro (Fe), zinco (Zn) e cobre (Cu) são transportados para raízes por difusão, que é um processo lento. Esses nutrientes estão presente em quantidades totais relativamente grande no SNR, sendo que a fração disponível para planta e a concentração na solução no SR pode ser insuficientes para satisfazer os requisitos da plantas (**Tabela 12**).

Tabela 12 -. Análise de variância dos atributos químicos do SNR e SR.

Atributos químicos	SNR ¹	SR ²	SNR-SR ³	Tukey (P<0,05)
pH CaCl ₂	5,6 ± 0,8	5,5 ± 0,8	0,1	ns*
C (g dm ⁻³)	27,2 ± 4,6	31,9 ± 5,2	- 4,7	ns*
NO ₃ ⁻ (mg.dm ⁻³)	8,1 ± 3,6	9,2 ± 2,6	-1,1	ns*
NH ₄ ⁺ (mg.dm ⁻³)	0,3 ± 0,1	0,8 ± 0,2	-0,5	ns*
K (Cmolc dm ⁻³)	16,7 ± 1,5	14,9 ± 2,2	1,8	ns*
P (mg.dm ⁻³)	36,2 ± 6,7	28,9 ± 8,9	7,3	ns*
Ca (Cmolc dm ⁻³)	4,9 ± 1,4	4,9 ± 0,9	-	ns*

Mg (Cmolc dm ⁻³)	2,2 ± 0,9	2,2 ± 0,7	-	ns*
Zn (mg dm ⁻³)	8,9 ± 4,8	8,1 ± 5,1	0,7	ns*
Mn (mg dm ⁻³)	36,4 ± 14,9	32,9 ± 10,2	3,5	ns*
Fe (mg dm ⁻³)	23,7 ± 8	24,9 ± 7	-1,2	ns*
Cu (mg dm ⁻³)	2,9 ± 1,4	3,8 ± 2,0	-0,9	ns*

¹SR = solo rizosférico; ²SNR = solo não rizosférico; ³SR-SNR = diferença no teor de nutriente entre as frações SR e SRN sendo: - acúmulo de nutriente no SR e + um déficit de nutriente na SR

O pH CaCl₂ no SR e SNR variou em média 5,5 a 5,6 respectivamente (Tabela 12). Os menores valores de pH CaCl₂ foi observado no SR, em relação ao SNR em Mamborê seguido de Castro e Ponta Grossa (Figura 2). Estudos prévios mostram que o pH foi menor no SR em relação ao SNR (ARCAND e SCHNEIDER, 2006; SOUZA et al., 2010; SHEN et al., 2013). As mudanças no pH da rizosfera são atribuídas a extrusão e absorção, respiração da raiz, liberação de exsudatos de baixa massa molecular e, especialmente a relação entre absorção de cátions e a de ânions (SOUZA et al., 2010; SHEN et al., 2013).

Os teores de NH₄⁺ e NO₃⁻ foram maiores na rizosfera (Tabela 12). De maneira geral quanto mais N está disponível no solo na forma de NH₄⁺ mais H⁺ é liberado na rizosfera e o diminui pH. Quando a concentração de NO₃⁻ é alta na solução do solo sua absorção libera íons OH⁻ e aumento o pH. Porém, nas leguminosas, a taxa de cátions é maior que a dos ânions, a medida que eles adquirem N da atmosfera através da FBN. Alguns estudos relatam que a acidificação da rizosfera de leguminosas está associada a propriedades específicas das leguminosas, que normalmente acidificam a rizosfera mesmo sob condições de absorção com nitrato.(SOUZA, et al., 2010)

Os teores de Ca e Mg no SR e SNR estão em níveis considerados altos no solo (CQFSRS/SC, 2004) porém sem diferença significativas (Tabela 12) esse comportamento pode estar associada a menor demanda por crescimento por plantas do que a oferta por fluxo na rizosfera, esse cátions são frequentemente acumulados na rizosfera e adsorvidos nos locais de troca da fase sólida (MORITSUKA et al., 2000; MORITSUKA et al., 2004). Os maiores teores de Ca e Mg no SNR em relação ao SR foram encontradas em Castro seguido da Ponta Grossa, porém na Mambore os teores de Ca e Mg foi superior no SR (Figura 2a e 3b).

Não houve diferença significativas para teor K no SNR e SR variou e 16,7 a 14,9 Cmolc dm⁻³ respectivamente (Tabela 12) sendo que ambas as frações os teores foram considerado alto

no solo (CQFSRS/SC, 2004). O maior teor de K no SNR em relação ao SR foram encontradas em Mambore seguido de Ponta Grossa, porém em Castro não houve diferença entre solo rizosférico e não rizosférico (Figura 4). A proporção do K transportado para as raízes por difusão decresce com o esgotamento do nutriente na rizosfera (HYLANDER et al., 1999), de modo que uma grande concentração radicular leva a esgotamento mais rápido do K solo na vizinhança das raízes (SEIFFERT et al., 1995).

O teor médio de P no SNR e SR variou de 36,1 a 28,9 respectivamente (Tabela 12) sendo que ambas as frações estão em níveis considerados muito altos (CQFSRS/SC, 2004). O menor teor P no solo rizosférico ocorre como consequência da captação de P pelas raízes (HINSIGER e GILKES, 1996). Essa absorção provoca uma reposição de P da fase sólida. No entanto, a reposição do P absorvido depende do tempo e das propriedades físico químicas do solo (HINSIGER e GILKES, 1996; HINSINGER, 1998). Além disso, a mineralização, imobilização e solubilização de fosfatos inorgânicos também influenciam a disponibilidade de P para as plantas.

O C no SR e SNR variou em média 31,9 e 27,1 respectivamente (Tabela 11). O maior teor C no SR em relação ao SNR foram encontradas em Mambore seguidos das Castro e Ponta Grossa. A rizosfera recebe quantidades apreciáveis de material orgânico do sistema radicular através da exsudação de ácidos orgânicos, mucilagens e células soltas, sendo justificado o aumento no teor de C nesta fração do solo (SHEN et al., 2013). As substâncias acumuladas nesse microambiente influenciam a comunidade microbiana, a qual coloniza a rizosfera utilizando esses exsudatos como fonte de C (GRAYSTON et al., 1998).

Os teores de micronutrientes avaliados apresentaram comportamentos variados conforme a fazenda, porém no SR e SNR estão em níveis considerados altos (CQFSRS/SC, 2004). Comparando os teores entre o SR e SNR os teores de Cu e Fe foram superiores no SR e os teores de Mn e Zn foram no SNR. A disponibilidade de micronutrientes para as plantas depende também da capacidade de diferentes espécies de plantas para mobilizar micronutrientes através da rizosfera. Os principais processos induzidos pela raiz são (1) redução pH da rizosfera ou diminuição do potencial redox e consequente dissolução de nutrientes no complexo de troca; (2) Exsudação de ligantes orgânicos, consequente complexação de metais na solução do solo, e (3) absorção por raízes e consequente desorção do complexo de troca do solo (LOOSEMORE et al., 2004). Todos esses mecanismos dependem das condições ambientais de cada local. A mobilização de Zn, Cu e Mn na rizosfera tem sido relatada devido a acidificação da rizosfera e da complexação com ácidos orgânicos (citrato) em exsudatos radiculares de espécie de plantas (NEUMANN et al., 2009).

De maneira geral os nutrientes na rizosfera em Mambore e Ponta Grossa foram semelhantes. Porém, em Castro apresentou comportamento distintos das demais fazendas. Essa diferença pode estar associado as condições de manejo do solo utilizado em Castro. Durante o desenvolvimento da cultura essa fazenda apresentou graves problemas de erosão no sulco de semeadura em toda a área e isto pode ter influenciado a dinâmica do nutriente no SR e SNR. A quantidade de nutrientes no SR e SNR de cada local pode estar relacionada principalmente pelas práticas de manejo, a cultivar e as características químicas do solo de cada fazenda.

Os resultados mostram que a dinâmica de nutrientes na rizosfera em áreas de alta produtividade são variáveis são diferentes entre as áreas de cultivo mesmo utilizando técnicas e manejos semelhantes. Os estudos sobre atributos químicos do solo rizosférico são importante para entender a dinâmica de nutrientes no solo e auxiliar a adubação de acordo os teores de nutrientes disponíveis nessa fração. As informações presentes nesse trabalho pode auxiliar no melhoramento genético de planta com o objetivo de selecionar ou modificar plantas para aumentar a produção de exsudados e outros compostos na rizosfera, aumento a disponibilidade de nutrientes. Verificou a necessidade de informações sobre a morfologia da raiz em áreas de plantio direto em sistema de alta produtividade. Alguns estudos preliminares realizados pelo CESB mostram que a principais características de áreas de alto rendimento foram o comprimento do sistema radicular. Esses resultados poderão auxiliar práticas de manejo que favoreça o desenvolvimento do sistema radicular e a dinâmica de nutrientes no solo.

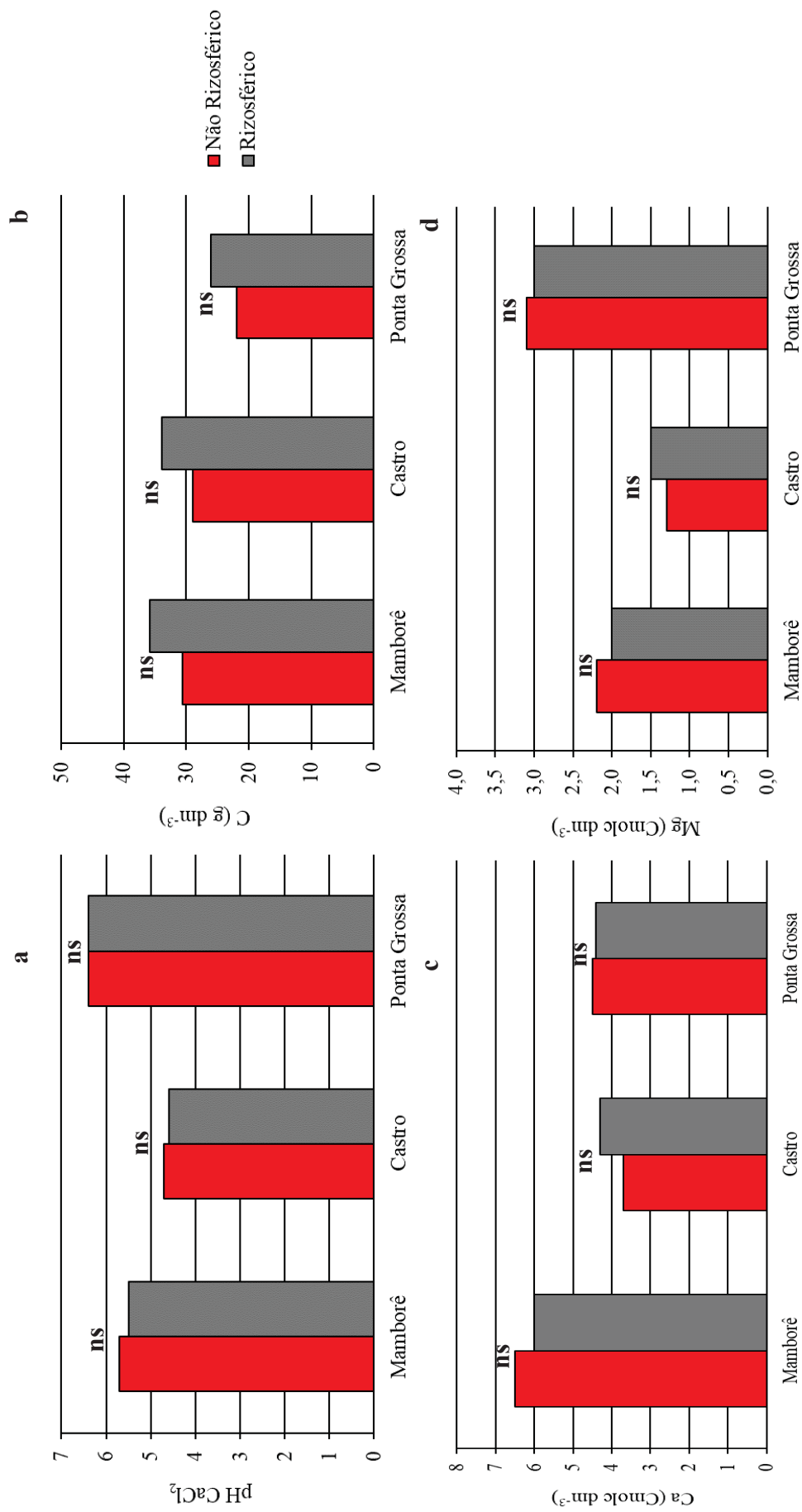


Figura 14 - Atributos químicos do solo pH (a), carbono (b), cálcio (c) e magnésio (d) em solo rizosférico e não rizosférico.

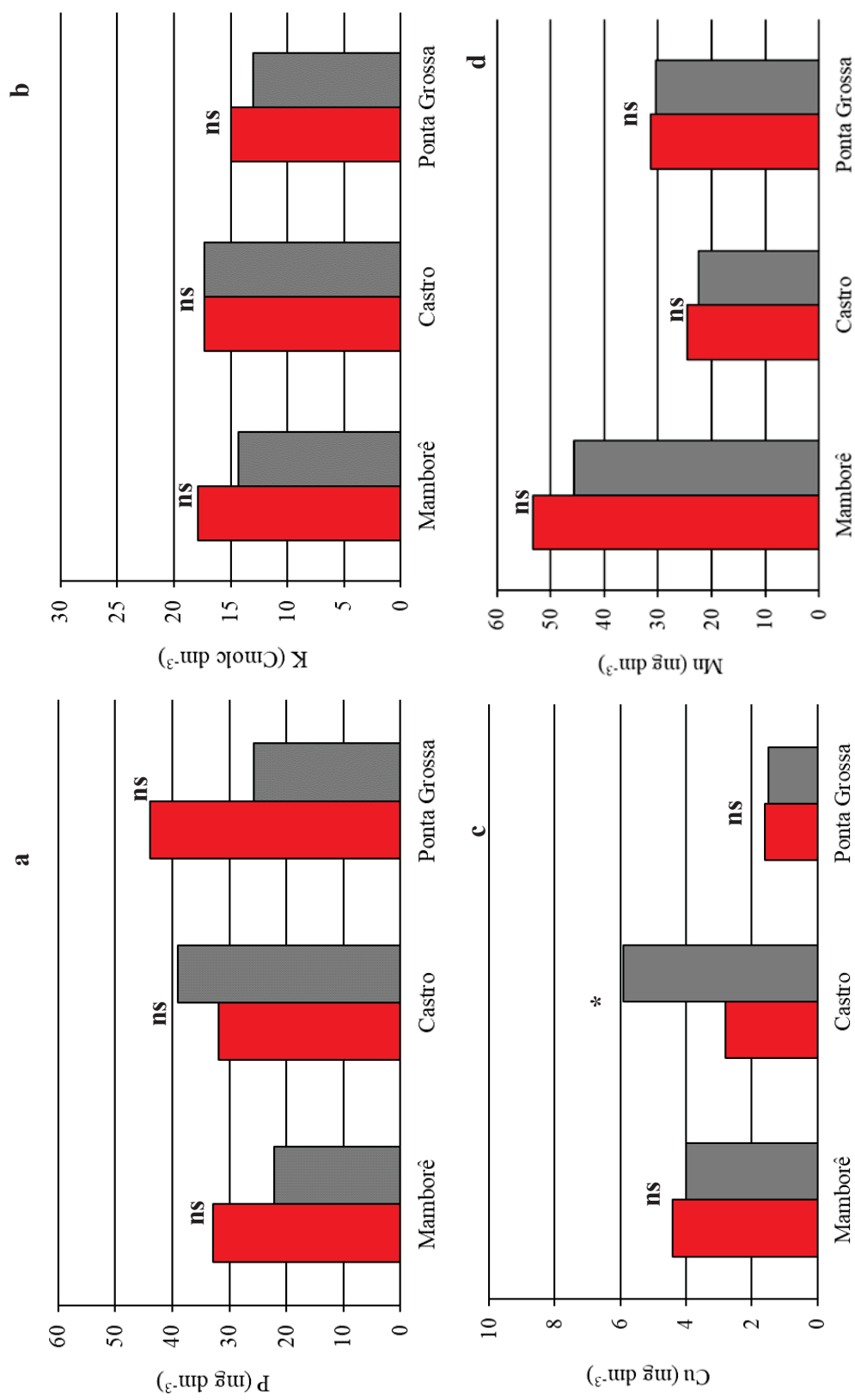


Figura 15 - Atributos químicos do solo fósforo (a), potássio (b), cobre (c) e manganês (d) em solo rizosférico e não rizosférico.

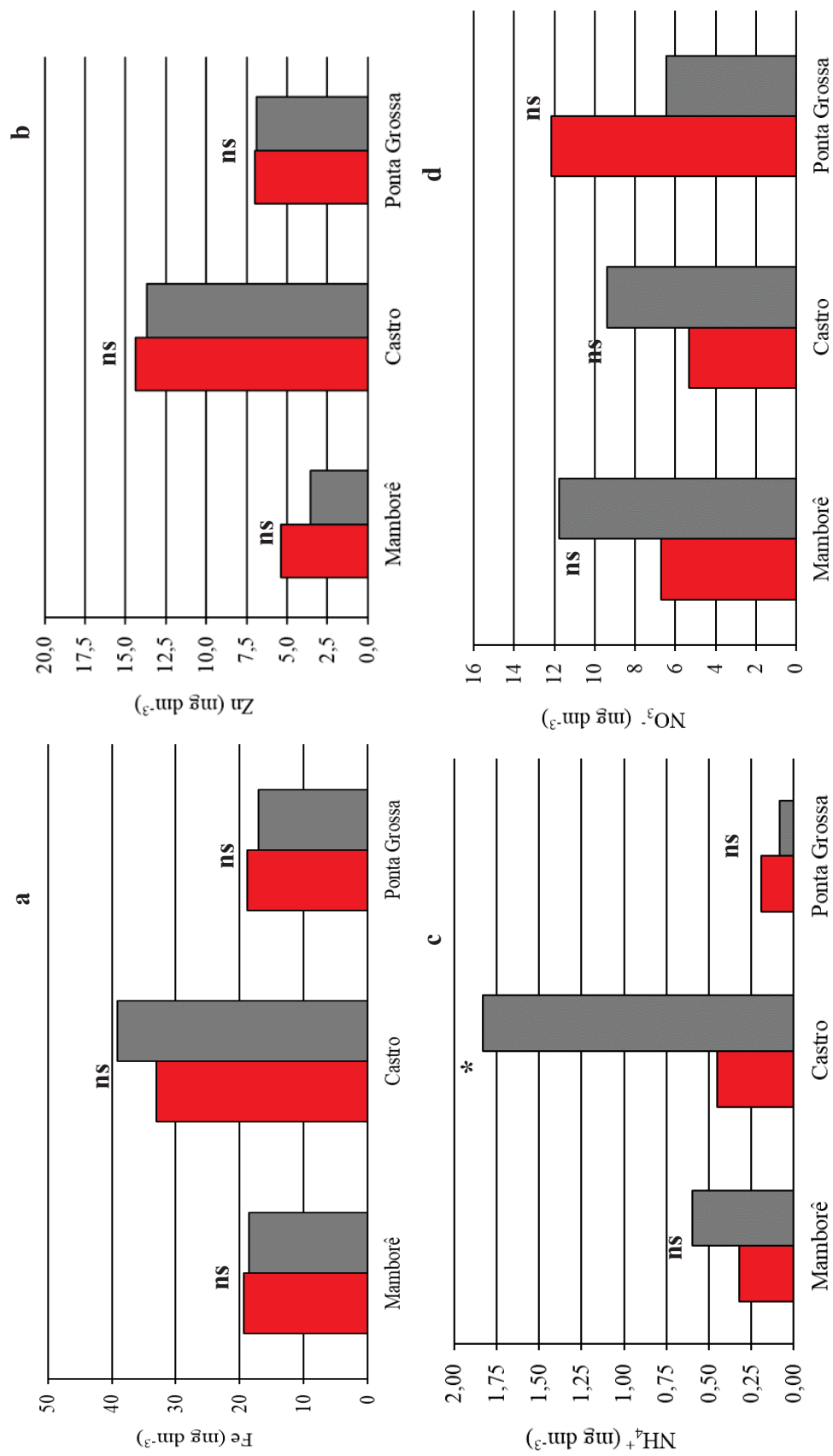


Figura 16 - Atributos químicos do solo ferro (a), zinco (b), amônio (c) e nitrato (d) em solo rizosférico e não rizosférico.

2.4 CONCLUSÕES

De maneira geral a composição química do SR do SNR apresentou variações nos atributos químicos do solo sendo que o C, NO_3^- , NH_4^+ , Fe e Cu foram superiores no SR em comparação ao SNR, ou seja houve ocorrência de acúmulo desses nutrientes na fração rizosférica, fato justificado devido a exsudação de ácidos orgânicos, mucilagens pelas plantas e pela atividade microbiana da rizosfera que altera a concentração e a absorção de nutrientes para as plantas. No entanto, os nutrientes com mobilidade limitada nos solos como P, K, Fe, Zn e Cu são transportados para raízes por difusão, que é um processo lento. Esses nutrientes tiveram um acúmulo na SNR, sendo que a fração disponível para planta e a concentração na solução no SR pode ser insuficientes para satisfazer os requisitos das plantas. Atributos químicos na grande maioria dos casos não apresentaram diferenças significativas entre as fazendas, sendo que as pequenas variações encontradas entre as fazendas podem ser justificadas pela composição do exsudado que varia com o material genético, as condições edafoclimáticas, o metabolismo e o estado nutricional da planta. As diferenças nos atributos químicos entre as frações do solo confirmam a hipótese de que a análise de rotina não representa o que realmente está ocorrendo na interface raiz solo e fornece apenas uma aproximação da fração realmente disponível de nutrientes. Portanto, o entendimento da dinâmica de nutrientes na rizosfera em áreas com alto rendimento contribuiu para o refinamento do manejo nutricional da cultura, pela recomendação racional de fertilizantes, visando assim, a manutenção da fertilidade do solo em níveis adequados.

2.5 REFERENCIAS

ARCAND, M.M.; SCHNEIDER, K.D. Plant and microbial-based mechanisms to improve the agronomic effectiveness of phosphate rock: a review. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**. v. 78, p. 791–807, 2006.

BENIZRI, E.; DEDOURGE, O.; DIBATTISTA-LEBOEUF, C.; PIUTTI, S.; NGUVEN, C.; GUCKERT, A. Effect of maize rhizodeposits on soil microbial community structure. **Applied Soil Ecology**. 21, p. 261–265, 2002.

CESB – Comitê Estratégico **Soja Brasil**. Disponível em: <<http://www.desafiosoja.com.br>>. Acesso em 20 set. 2016.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3ed. Passo Fundo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 1995. 224p.

CORDEIRO, M.A.S.; CORÁ, J.E., NAHAS, E. Atributos bioquímicos e químicos do solo rizosférico e não rizosférico de culturas em rotação no sistema de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 36, p. 1794–1803, 2012.

DOANE, T.A.; HORWATH, W.R. Spectrophotometric determination of nitrate with a single reagent. **Journal Analytical Letters**. v. 36, p. 2713–2722, 2003.

DOTANIYA, M.L.; MEENA, V.D., 2015. Rhizosphere Effect on Nutrient Availability in Soil and Its Uptake by Plants: A Review. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences**. v. 85, p. 1–12, 2015.

GRAYSTON, S. J.; WANG, S.; CAMPBELL, C. D.; EDWARDS, A. C. Selective influence of plant species on microbial diversity in the rhizosphere. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 30, p. 369–378, 1998.

HINSINGER, P. How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. **Advances in Agronomy** v. 64, p. 225–265, 1998.

HINSINGER, P.; GILKES, R.J. Mobilization of phosphate from phosphorus rock and alumina-sorbed phosphate by the roots of ryegrass and clover as related to rhizosphere pH. **European Journal of Soil Science** v. 47, p. 533–544, 1996.

HYLANDER, L. D.; AE N.; HUTTA, E.; SUGIYAMA, M. Exploitation of K near roots of cotton, maize, upland rice, and soybean grown in an Ultisol. **Plant Soil**. v. 208, p. 33–41, 1999.

JONES, D.L., HODGE, A.; KUZUYAKOY, Y. Plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. **New Phytologist**, v. 163, p. 459–480, 2004.

JONES, D.L., KOCHIAN, L. V.. Aluminium-organic acid interactions in acid soils. **Plant Soil**. v. 182, p. 221–228, 1996.

LAMMEL, D.R., FEIGL, B.J.; CERRI, C.C.; NUSSLEIN, K. Specific microbial gene abundances and soil parameters contribute to C, N, and greenhouse gas process rates after land use change in Southern Amazonian Soils. **Front**. v. 6, p. 1–14, 2015.

LOOSEMORE, N.; STRACZEK, A.; HINSINGER, P.; JAILLARD, B. Zinc mobilisation from a contaminated soil by three genotypes of tobacco as affected by soil and rhizosphere pH. **Plant Soil** v. 260, p. 19–32, 2004.

MENDES, G. O.; FREITAS, A. L. M.; PEREIRA, O. L.; DA SILVA, I. R.; VASSILEV, N. B.; COSTA, M. D. Mechanisms of phosphate solubilization by fungal isolates when exposed to different P sources. **Annals of Microbiology**, v. 64. p., 239-249, 2014

MORITSUKA, N.; YANAI, J.; KOSAKI, T. Effect of plant growth on the distribution and forms of soil nutrients in the rhizosphere. **Soil Science and Plant Nutrition** v. 46, p. 439-447, 2000.

MORITSUKA, N.; YANAI, J.; KOSAKI, T..Possible processes releasing nonexchange-able potassium from the rhizosphere of maize. **Plant Soil**. v. 258, p. 261–268, 2004.

NEUMANN, G.; GEORGE, T.S.; PLASSARD, C. Strategies and methods for studying the rhizosphere-the plant science toolbox. **Plant Soil** v. 321, p. 431–456, 2009.

PAVAN, M. A; BLOCH, M. F; ZEMPULSKI, H. C; MYAZAWA, M; ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, 1992, 40 p. (Circular 76).

SADANA, U.S.; KUSUM L.; CLAASSEN N. Manganese efficiency of wheat cultivars as related to root growth and internal manganese requirement. **Journal of Plant Nutrition**. v. 25, p. 2677–2688, 2002.

SEIFFERT, S.; KASELOWSKY, J.; JUNGK, A.; CIAASSEN, N. Observed and calculated potassium uptake by maize as affected by soil water content and bulk density. **Agronomy Journal**. v. 87, p. 1070–1077, 1995.

SHEN, J.; Li, C., Mi, G., Li, L., Yuan, L., Jiang, R., Zhang, F. Maximizing root/rhizosphere efficiency to improve crop productivity and nutrient use efficiency in intensive agriculture of China. **Journal of Experimental Botany**. v. 64, p. 1181–1192, 2013.

SOUZA, L.H.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; DE ALBUQUERQUE VILANNI, E.M.; Efeito do pH do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 34, p. 1641–1652, 2010.

TANIKAWA, T.; SOBUE, A.; HIRANO, Y. Acidification processes in soils with different acid buffering capacity in *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* forests over two decades. **Forest Ecology and Management**. v. 334, p. 284 – 292, 2014.

WALTER, N.; VEGA, O. A review on beneficial effects of rhizosphere bacteria on soil nutrient availability and plant nutrient uptake. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín** v. 60, p. 3621–3643, 2007.

WANG, Z.Y.; KELLY, J.M.; KOVAR, J.L. Depletion of macro-nutrients from rhizosphere soil solution by juvenile corn, cottonwood, and switchgrass plants. **Plant Soil** v. 270, p. 213–221, 2007.

ZHAO, Q.; ZENG, D.H.; FAN, Z.P. Nitrogen and phosphorus transformations in the rhizospheres of three tree species in a nutrient-poor sandy soil. **Applied Soil Ecology**. v. 46, p. 341–346, 2010.

4.0 CAPITULO III: AVALIAÇÃO DOS FATORES LIMITANTES PRODUÇÃO DE SOJA USANDO DSSAT-CSM-CROPGRO-SOJA CALIBRADO PELO GRUPO DE MATURIDADE.

RESUMO

O hiato de produção de soja tem muitas incertezas quanto às decisões agrícolas e ao rendimento de referência. Assim, este estudo teve como objetivo quantificar a diferença de produtividade da soja em quatro locais, localizados no sul e centro-oeste do Brasil, incluindo incertezas de cultivares, datas de semeadura, tipo de solo e rendimento de referência. O modelo de cultura DSSAT-CSM-CROPGRO-Soja foi calibrado, cultivando agrupamentos por grupos de maturidade semelhantes, com base em dados obtidos nas melhores fazendas do município. A diferença de rendimento por déficit hídrico (YgWD) foi obtida através da diferença entre rendimentos potenciais e atingíveis, e a diferença de rendimento causada pelo manejo subótimo de culturas (YgCM) entre rendimentos atingíveis e municipais, obtida a partir de estatísticas oficiais entre 1989/90 e Safras 2014/15. O rendimento foi simulado usando quatro datas de semeadura, três tipos de solo e dois grupos de maturidade por município. A incerteza de rendimento de referência foi quantificada usando a referência de rendimento do modelo de colheita e dos agricultores dos campeões regionais entre as safras 2013/14 e 2015/16. O modelo de cultura mostrou uma boa concordância entre o desenvolvimento e o crescimento da colheita medidos e simulados usando calibração por grupo de maturidade, destacando o rendimento da soja com baixo erro quadrático médio (347 kg ha^{-1}). Os locais do sul apresentaram um YgWD médio de 1047 kg ha^{-1} , enquanto no Centro-Oeste foi inferior a 100 kg ha^{-1} . Os YgCM foram 1067, 528, 984 e 848 kg ha^{-1} , respectivamente, para Castro, Mamborê, Montividiu e Primavera do Leste, representando a oportunidade de melhoria de produtividade para o município médio, quando utilizados os melhores agricultores do município como referência. Os grupos de maturidade, datas de semeadura e tipo de solo mostraram-se uma incerteza importante quanto à diferença de produtividade, onde é recomendável conhecê-los na fazenda para uma quantificação apropriada. O rendimento de referência mostrou enormes incertezas, onde os melhores agricultores do condado podem aumentar o rendimento em 3241 kg ha^{-1} , quando as regiões usadas defendem os agricultores como referência. Dessa forma, é essencial reduzir as incertezas da lacuna na produtividade, verificando se a taxa esperada de crescimento da produtividade da soja pode ser alcançada usando como referência os manejos das culturas de campeões e melhores agricultores do condado.

Palavras-chave: Déficit Hídrico. Manejo de Culturas. Rendimento de Referência. Rendimento Atingível. Rendimento Potencial.

**CHAPTER III: ASSESSMENT AND UNCERTAINTIES OF SOYBEAN YIELD GAPS
USING DSSAT-CSM-CROPGRO CALIBRATED BY CULTIVAR MATURITY
GROUP IN BRAZIL**

ABSTRACT

Soybean yield gap has many uncertainties from farm decisions and reference yield. Thus, this study aimed to quantify the yield gap for soybean in four sites, located in South and Midwest Brazil, including uncertainties from cultivars, sowing dates, soil type and reference yield. The crop model DSSAT-CSM-CROPGRO-Soybean was calibrated grouping cultivars by similar maturity groups, based on data obtained from the best farms at the county. The yield gap by water deficit (YgWD) was obtained through the difference between potential and attainable yields, and yield gap caused by sub-optimum crop management (YgCM) between attainable and county yields, which was obtained from official statistics between 1989/90 and 2014/15 growing seasons. The yield was simulated using four sowing dates, three soil types and two maturity groups by county. The reference yield uncertainty was quantified using yield reference from crop model and regional champions' farmers from 2013/14 to 2015/16 growing seasons. The crop model showed a good agreement between measured and simulated crop development and growth using calibration by maturity group, highlighting soybean yield with low root mean square error (347 kg ha⁻¹). South sites had a mean YgWD of 1047 kg ha⁻¹, while in the Midwest was lower than 100 kg ha⁻¹. The YgCM were 1067, 528, 984 and 848 kg ha⁻¹, respectively, for Castro, Mamborê, Montividiu and Primavera do Leste, representing the opportunity for yield improvements for the mean county when used the best county farmers as reference. The maturity groups, sowing dates and soil type showed to be an important uncertainty for yield gap, where it is recommended to know these at farm for an appropriate quantification. The reference yield showed huge uncertainties, where best county farmers can increase yield in 3241 kg ha⁻¹, when used regions champions farmers as reference. This way, it is essential reduce yield gap uncertainties, verifying if the expected rate of soybean yield growth can be reached using crop managements from champions and best county farmers as a reference.

Keywords: Water Deficit. Crop Management. Reference Yield. Attainable Yield. Potential Yield.

3.1 INTRODUÇÃO

O Gap de rendimento é uma abordagem usada para quantificar as perdas de rendimento em torno de mundo e identificar os fatores responsáveis por essa perdas (LOBELL CASSMAN e FIELD, 2009). Os modelos de simulação de culturas são os mais ferramentas adequadas para quantificar as diferenças de rendimento (GUILPART et al., 2017; MONTEIRO e SENTELHAS, 2017; VAN ITTERSUM et al., 2013). Além disso o uso de modelos possibilita uma economia de tempo, trabalho e quantidade de recursos para tomada de decisão no setor agrícola. Os modelos de colheita são calibrados com dados experimentais de campos finalizados, permitindo estimar o rendimento potencial (Y_p), sem restrições bióticas e abióticas e rendimentos atingíveis (Y_a), sem tensões ópticas, que por sua vez tornam possível calcular a diferença de rendimento causada por déficit hídrico ($Y_p - Y_a$). Outra alternativa é usar a e rendimentos dos ensaio de campo ou dos melhores agricultores, como referência e quantificar a diferença de produtividade pelo manejo de culturas (EGLI e HATFIELD, 2014; VAN ITTERSUM et al., 2013).

Em um estudo anterior, SENTELHAS et al. (2015) utilizaram uma colheita simples modelo (FAO - Zona Agroecológica) para determinação da soja diferença de rendimento no Brasil. O modelo foi calibrado usando rendimentos de ensaios de campo como referência e o rendimento dos agricultores reportada em pesquisa de campo. De acordo com este estudo, o déficit hídrico e o manejo foram responsáveis, respectivamente, por 74% e 26% dos a diferença total de produtividade da soja. Em outro estudo, BATTISTI et al. (2018) mostraram que o déficit hídrico e o manejo das culturas foram responsáveis, respectivamente, por 46% e 54% da soja diferença de produtividade da soja, usando o mesmo modelo de cultura, mas com sua calibração com base nos rendimentos de referência obtidos com os vencedores da CESB.

Os resultados mostraram que a referência de rendimento pode alterar a diferença de rendimento padrão, levando a incertezas quanto ao rendimento alcançável da soja (LOBELL et al., 2009). Além das incertezas de referência de produtividade, o uso de modelos de culturas para determinar diferenças de rendimento no nível de cidade tem como limitação a incerteza contaminações associadas às decisões dos agricultores durante cada cultivo estação, como data de semeadura, cultivar de soja (grupo de maturidade) e tipo de solo e seu no nível de tecnologia utilizada pelo agricultor (BATTISTI et al., 2017). As datas de semeadura são bastante conhecidas ao longo da soja regiões produtoras de soja, mas o grupo de maturidade pode mudar consideravelmente entre as estações de crescimento. No Brasil, tinha mais de 300 cultivares oficialmente disponíveis para os produtores a serem escolhidos em 2015/16 estação

de crescimento (MAPA, 2017), que dificulta a calibração de modelo de simulação de culturas para cada cultivar. Uma alternativa é calibrar o modelo de cultura baseado nos grupos de maturidade da soja mais utilizados cada região do país (SALMERÓN e PURCELL, 2016).

Com base nisso, a hipótese deste estudo é que os fatores limitantes da produção de soja pode ser quantificado usando uma simulação de colheita modelo calibrado para diferentes grupos de maturidade, incluindo diferentes faixas de tipos de solo, datas de semeadura e rendimentos de referência. Portanto, Este estudo teve como objetivo (a) calibrar o DSSAT-CSM-CROPGRO-Soja para diferentes cultivares usando parâmetros comuns como maturidade grupos; (b) analisar a taxa temporal de melhoria do rendimento da soja ao nível de cada município; e (c) quantificar as diferenças de rendimento causadas por déficit hídrico e manejo sub ótimo das culturas, considerando os fatores limitantes associado à referência de rendimento, data de semeadura e tipo de solo.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Calibração e avaliação do modelo de colheita

3.2.1.1 Experimentos de campo

Os experimentos de campo foram realizados em quatro locais no Brasil (Figura 1). Dois locais estavam no sul: Castro (24 ° 49'S, 49 ° 57'W) e Mamborê (24 ° 36'S, 52 ° 56'W), ambos no estado do Paraná (PR); e dois no Centro-Oeste: Montividiu (17 ° 26'S, 51 ° 27'W), estado de Goiás (GO) e Primavera do Leste (15 ° 24'S, 54 ° 22'W), Mato Grosso estado (MT). Essas ensaios foram realizadas em fazendas comerciais com alta tecnologia foi aplicada. Essas fazendas foram classificadas como os melhores em seu país, considerando seu desempenho no Concurso Brasileiro de Produção de Soja (CESB, 2017), durante 2013/2014, Safras 2014/2015 e 2015/2016. Para avaliação do modelo, dados de produtividade foram obtidos em diferentes locais do Brasil (Figura 14) e épocas de crescimento (de 2014/2015 a 2016/17), onde cultivares com grupos de maturidade semelhantes, utilizados para a calibração, foram semeados.

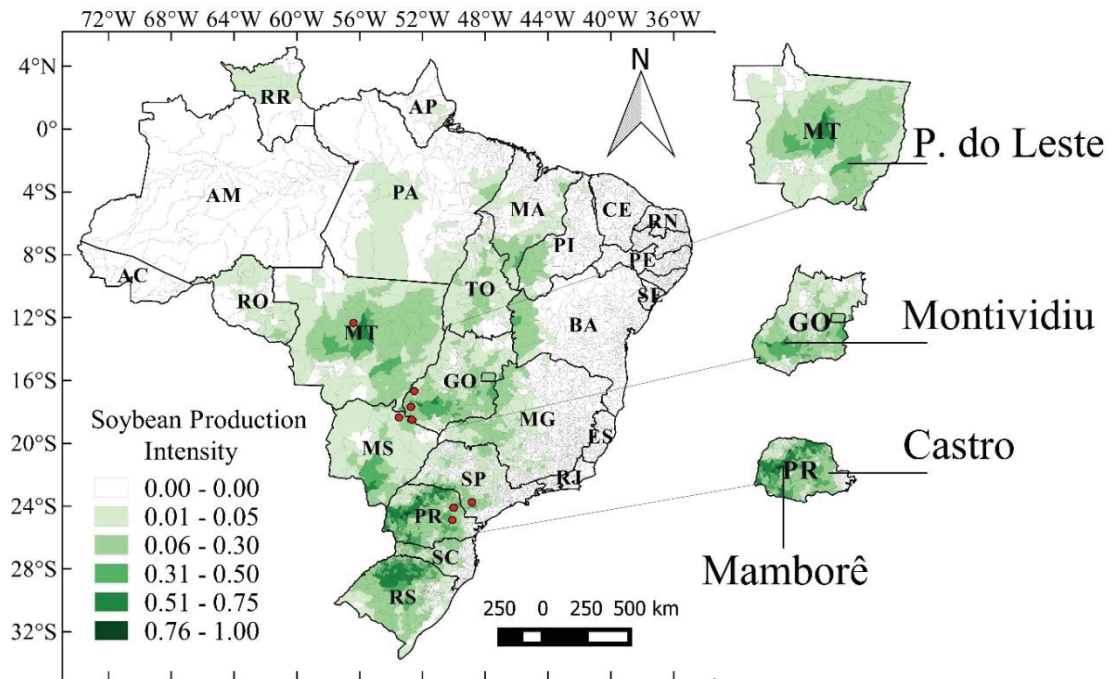


Figura 17 – Experimentos de campo de soja realizados durante as safras 2013/2014, 2014/2015 e 2015/2016 utilizadas para quantificar a diferença de rendimento de 1990 a 2015. Os círculos vermelhos representam os locais onde os dados de produção de soja foram obtidos para avaliação do modelo. Os valores na legenda representam a parte decimal de um pixel cultivado com soja. Adaptado do IBGE (2017).

As parcelas experimentais tiveram 6 m de comprimento e 6 linhas, totalizando 2,7 m, considerando quatro repetições com uma distância de 130 m uns aos outros para representar as condições de rendimento da área total do campo (3–5 ha), considerado pela CESB (2017) para competição de rendimento. O manejo da lavoura seguiu as recomendações da EMBRAPA 2011, utilizando diferentes datas de semeadura e cultivares para cada local e estação de crescimento (Tabela 13). O sistema de cultivo foi plantio direto em Castro, Mamborê e Montividiu, e plantio convencional em Primavera do Leste, todos em condições de sequeiro.

Tabela 13 - Locais, estações de cultivo, classificação climática de Köppen, datas de semeadura, cultivares e seus grupos de maturidade e população de plantas (PP) para as fases de calibração e avaliação DSSAT - CSM – CROPGRO - Soja.

Field Exp. #	Local	Safr	Köppen ¹	Data plantio	Cultivar	Grupo de maturidade		PP (pl m ⁻²)
						Cultivar	Calibrado	
Calibração								
1	Castro	2013/14 ^{2a}	Cfb	02/11/2013	Veloz (I ³)	5.0	5.0	29

2		2014/15 ^{2b}		10/11/2014	AS 3570 (SI)	5.7		37
3		2015/16		01/11/2015	BMX Apollo (I)	5.5		29
4		2013/14		10/10/2013	NA 5909 RG (I)	5.9	5.8	29
5	Mamborê	2014/15	Cfa	03/10/2014	V-Top (I)	5.9		28
6		2015/16		23/09/2015	NA 5909 (I)	5.9		28
7		2013/14		10/10/2013	Desafio (I)	7.4		23
8	Montividiu	2014/15	Aw	04/11/2014	CD2728 (I)	7.2	7.2	39
9		2015/16		06/11/2015	7110 IPRO (I)	6.8		44
10		2013/14		26/10/2013	TMG 132 (D)	8.5	8.4	23
11	Primavera do Leste	2014/15 ^{2c}	Aw	02/11/2014	CD 2720 (I)	7.2	7.2	26
12		2015/16		01/11/2015	M 8372 IPRO (D)	8.3	8.4	22
Simulação								
13	Itapeva	2014/15	Cfa	13/11/2014	95Y72	5.0	5.0	35
14	Lucas do Rio Verde	2014/15	Aw	28/10/2014				35
15	Arapoti	2014/15	Cfa	17/11/2014	BMX Ativa RR (I)	5.6	5.8	35
16	Carambeí	2014/15	Cfb	04/11/2014				35
17				19/10/2016	Desafio (I)			35
18	Mineiros	2016/17	Aw	19/10/2016	Tec 7548 IPRO (I)			35
19	Costa Rica	2016/17	Am	17/10/2016		7.4	7.2	35
20	Doverlândia	2014/15	Aw	26/10/2014	Desafio (I)			35
21				21/10/2016				35
22	Chapadão do Céu	2016/17	Am	21/10/2016	5G8015 (D)	8.0	8.4	35

Foram coletados informações das fases fenológicas nos experimentos de 1 a 12 (Tabela 13): emergência; antese (primeiro flor); o início da 1ª formação de semente; o começo do 1º formação de sementes; e maturidade. Na maturidade fenológica (R8), foram quantificados o rendimento, massa seca superior e o índice de colheita. O teor de nitrogênio nas folhas foi medido no início da formação da vagem, enquanto o nitrogênio biomassa de primeiro plano e nitrogênio extraído pelos grãos foi quantificado. Para as experiências de campo de 13 a 21 (Tabela 13), apenas os rendimentos foram medidos no final do ciclo.

A análise do solo foi realizada antes da semeadura, analisando características físicas e químicas, seguindo conforme EMBRAPA (1997). As análises foram realizadas nas profundidades de 0–0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. A camada 0,20-0,40 m foi utilizado para extrapolar as características de camadas mais profundas, considerando o máximo de 150 cm. A textura do solo foi usada para o ponto de murcha permanente, capacidade de campo e saturação ponto, condutividade saturada e densidade aparente, usando pedotransferência funções (MARCOLIN & KLEIN, 2011; REICHERT et al., 2009).

A temperatura mínima e máxima do ar, radiação solar, vento velocidade, umidade relativa e precipitação foram utilizados como informações de entrada no modelo de simulação de culturas. Os dados meteorológicos foram obtidos de estações meteorológicas comuns localizadas perto dos campos experimentais (± 10 km), com exceção das chuvas registradas no experimento área.

3.2.1.2 Modelo de simulação de culturas

O potencial da soja e os rendimentos atingíveis foram simulados usando DSSAT - CSM - CROPGRO - Soja (BOOTE et al., 2003). O modelo faz parte do Suporte à Decisão Sistema para Transferência de Agrotecnologia (DSSAT) (JONES et al., 2003) e foi o que apresentou melhor desempenho entre outras modelos de cultura da soja (BATTISTI et al., 2017; BATTISTI et al., 2018) para as condições brasileiras, com produtividade observada variando entre 1.000 e 6.000 kg ha⁻¹.

O modelo foi calibrado nos dados medidos nos experimentos de campo, apresentados na Tabela 13, com cultivares agrupadas por grupo de maturidade semelhante (faixa) para calibração dos parâmetros do modelo parâmetros: 5,0 (5,0), 5,8 (5,5-5,9), 7,2 (6,8-7,4) e 8,4 (8,3-8,5). No início da calibração, os parâmetros fenológicos foram obtidos a partir do padrão do modelo para cada grupo de maturidade, enquanto os parâmetros de crescimento e o fator de crescimento radicular do solo seguindo outro padrão (BATTISTI et al., 2017). A calibração foi realizada até obter o menor erro quadrático médio da raiz (RMSE) e o maior índice de Willmott (d; WILLMOTT et al., 1985) entre crescimento simulado e medido e variação fenológica. Os parâmetros obtidos para cada grupo de são mostrados na tabela S2.

3.2.1.3 Gap de rendimento

O Gap de rendimento foi quantificado nos mesmos locais onde os ensaios foram realizados (Figura 17). Os fatores limitantes de rendimento foram quantificados alterando as seguintes variáveis no modelo de colheita: quatro datas de semeadura; dois grupos de maturidade; e três tipos de solo. As datas de semeadura simuladas foram 01 de outubro, 15 de outubro e 01 de novembro e 15 de novembro, que correspondem à janela de semeadura utilizada por mais de 90% dos produtores de soja nas regiões avaliadas (CONAB, 2017). Os grupos de maturidade utilizados em cada local foram conforme os parâmetros do modelo calibrados para 5.0 e 5.8 para Castro e Mamborê e 7.2 e 8.5 para Montividiu e Primavera do Leste.

Os dados meteorológicos foram obtidos do banco de dados para o período histórico de 1989 a 2015 (XAVIER et al., 2015). Os dados meteorológicos foram obtidos para coincidir com mesmo período de produção média observada de soja no município, que estava disponível nas pesquisas oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017).

Foram considerados três níveis de produção de soja para o rendimento do município de 1989/90 a 2014/15, sendo potencial, rendimento atingível e médio dos agricultores (Sentelhas et al., 2015). O potencial e o rendimento atingível foram simulados pelo DSSAT-CSM-CROPGRO - Soja, considerando, respectivamente, sem limitações hídricas e condições de sequeiro, onde o hiato de rendimento por déficit hídrico (YGWD) foi obtido a partir da diferença entre eles. O padrão foi utilizada a quantificação das incertezas associadas ao solo textura, data de semeadura, grupo de maturidade e estações de crescimento em cada site usado para determinar o YGWD.

O hiato de rendimento pelo manejo subótimo de culturas (YGCM) foi obtido a partir da diferença entre a fazenda atingível e a média rendimento no município. O rendimento médio dos agricultores no município foi obtidos no banco de dados IBGE (2017), que possuía os de 1989/90 a 2014/15, retiradas, considerando a abordagem de regressão linear recomendada por HEINEMANN E SENTELHAS (2011). Foi quantificada a porcentagem de crescimento temporadas com diferença de rendimento negativa por manejo subótimo da colheita, identificação de opções de gerenciamento de simulação a partir da agregação de diferentes datas de semeadura, grupos de maturidade e tipos de solo que levam a simule um rendimento atingível inferior ao rendimento médio dos agricultores no município. Os fatores limitantes do rendimento de referência foi quantificada considerando as safras 2013/14, 2014/15 e 2015/16, usando rendimento diferença do modelo de colheita e dos vencedores regionais do concurso CESB (CESB, 2017). Nesse caso supunha-se que as condições do solo nas fazendas vencedoras fossem semelhantes às observadas nos experimentos de campo, já que nas duas áreas a soja foi cultivada nos melhores solos das fazendas. Com base nisso, o YGCM foi quantificado

comparando o valor real rendimentos dos vencedores regionais da CESB e dos melhores agricultores com rendimentos atingíveis simulados pelo modelo de cultura calibrado.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Desempenho da soja DSSAT-CSM-CROPGRO

O desempenho do modelo de simulação de culturas foi primeiramente avaliado comparando a fenologia da soja simulada e observada. O modelo apresentou acurácia e precisão suficientes para o grupo de cultivar. Os parâmetros foram calibrados quanto à similaridade do grupo de maturidade da soja. (Figura 18a).

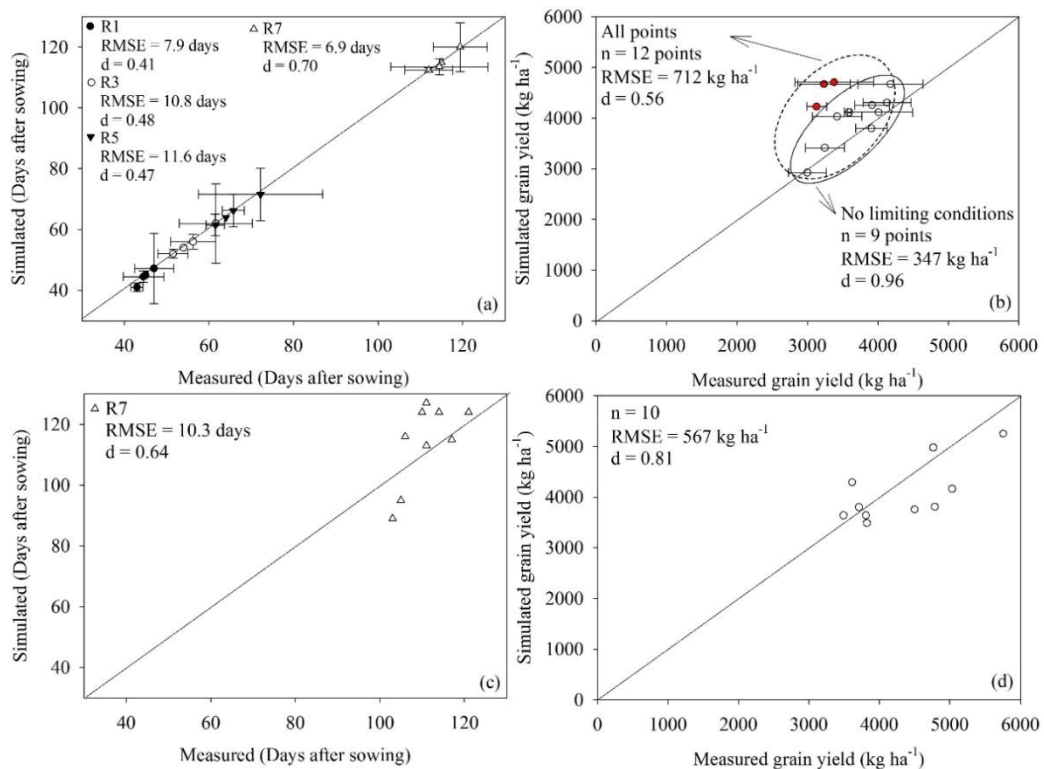


Figura 18 - Relação entre as fases fenológicas das culturas medidas e simuladas (a e c) e rendimento de grãos (b e d) para as fases de calibração (a e b) e avaliação (c e d). R1, R3, R5 e R7 são, respectivamente, dias após a semeadura para primeira flor, primeira vagem, primeira semente e maturidade, considerando as cultivares de acordo com o grupo de maturidade relacionado. RMSE é o erro quadrático médio da raiz, d é o índice de Willmott e as barras indicam os desvios padrão entre os valores medidos e os simulados.

O DSSAT-CSM-CROPGRO-Soja foi capaz de simular crescimento e desenvolvimento após calibrado, mesclando as cultivares por grupo de maturidade semelhante. O rendimento da soja apresentou baixo erro e uma alta concordância entre valores simulados e medidos (RMSE

= 347 kg ha⁻¹; d = 0,96). O desempenho do modelo de colheita foi semelhante aos encontrados por outros autores em todo o mundo (BOOTE et al., 2003; RMSE = 275 kg ha⁻¹; BATTISTI et al., 2017; RMSE = 548 kg ha⁻¹; d = 0,93).

Em nosso estudo, o objetivo era usar os mesmos parâmetros para diferentes cultivares de grupos de maturidade semelhantes, mostrando que é possível aplicar isso para reduzir a exigência de calibração do modelo de cultura para cada nova cultivar. Essa abordagem foi utilizada no estudo de SALMERÓN E PURCELL (2016), que mostrou que DSSAT - CSM - CROPGRO - Soja teve desempenho semelhante se calibrado por cultivar ou por grupo de cultivares com quase a mesma maturidade grupo. O erro quadrático médio da raiz (RMSE) para estimar o a primeira flor (R1) foi de 7,9 dias (d = 0,41); enquanto que para o início formação de vagens(R3) foram 10,8 dias (d = 0,48); início do enchimento de grãos (R5) 11,6 dias (d = 0,47); e para maturação fisiológica (R7) 6,9 dias (d = 0,70), quando comparados e dados simulados. Para a avaliação usando dados independentes, a data de maturação fisiológica foi bem estimada, com um RMSE geral de 10,3 dias e d = 0,61 (Figura 18c). Houve um acordo entre a soja medida e a simulação produtividade da soja (Figura 18b), com RMSE = 712 kg / ha ed = 0,56, quando todos experimentos de campo foram considerados. No entanto, quando experimentos de campo 1, 2 e 10 (Tabela 13) foram removidos da análise, devido à influência de outros fatores no rendimento da soja que não o meio ambiente considerados pelo modelo de cultura, o RMSE diminuiu para 347 kg /ha e d aumentaram 0,96. Esse bom desempenho foi mantido durante a fase de avaliação, com dados independentes, com RMSE = 554 kg /ha ed = 0,83 (Figura 18d). O modelo de colheita mostrou razoável concordância entre a massa seca superior simulada e medida no (RMSE = 2.677 kg / ha; d = 0,39), captação máxima de nitrogênio na maturidade (RMSE = 154 kg / ha; d = 0,43), exportação de nitrogênio dos grãos (RMSE = 29 kg /ha; d = 0,69), índice de colheita (RMSE = 0,15 %; d = 0,16) e folha concentração de nitrogênio na primeira vagem (RMSE = 0,74%; d = 0,39

3.3.2 Potencial, atingível e rendimento dos agricultores em nível em cada município

O rendimento potencial médio (26 estações de cultivo) para cada local atingiu 5.353, 5.279, 4.352 e 4.109 kg ha⁻¹, o que foi reduzido devido ao déficit hídrico para um rendimento atingível de 4.627, 3.911, 4.260 e 4.036 kg ha⁻¹, respectivamente, para Castro, Mamborê, Montividiu e Primavera do Leste (Figura 19).

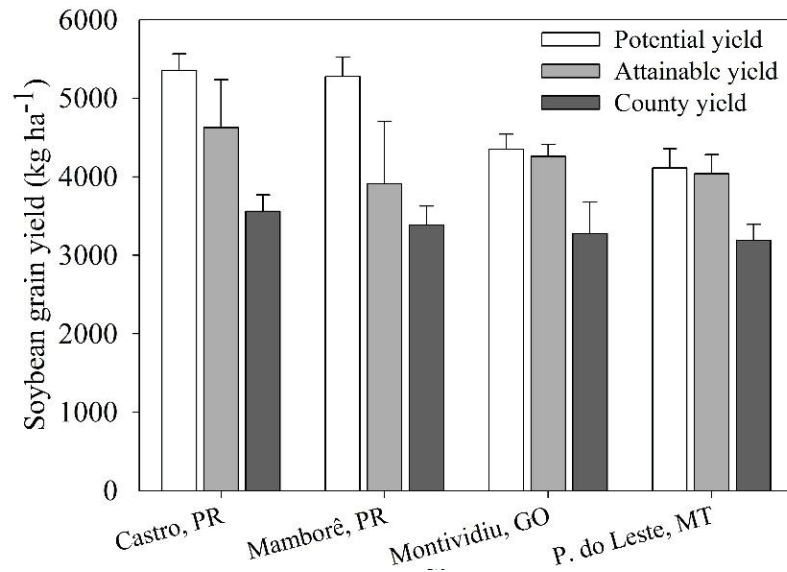


Figura 19 - Potencial, atingível e rendimento dos agricultores no município para soja, obtido considerando a média das estações de cultivo de 1989/90 a 2014/15.

Caso contrário, o rendimento médio dos agricultores no nível do município era de 3.560, 3.383, 3.276 e 3.188 kg/ha, quando a tendência tecnológica foi removida, respectivamente, para Castro, Mamborê, Montividiu e Primavera do Leste (Figura 19). A média do rendimento dos agricultores em nível municipal foi obtido com base nos alugar tecnologias disponíveis e manejo de culturas usadas pelos agricultores, removendo a tendência tecnológica com base nas recentes safras como referência (2010-2015; Figura 20).

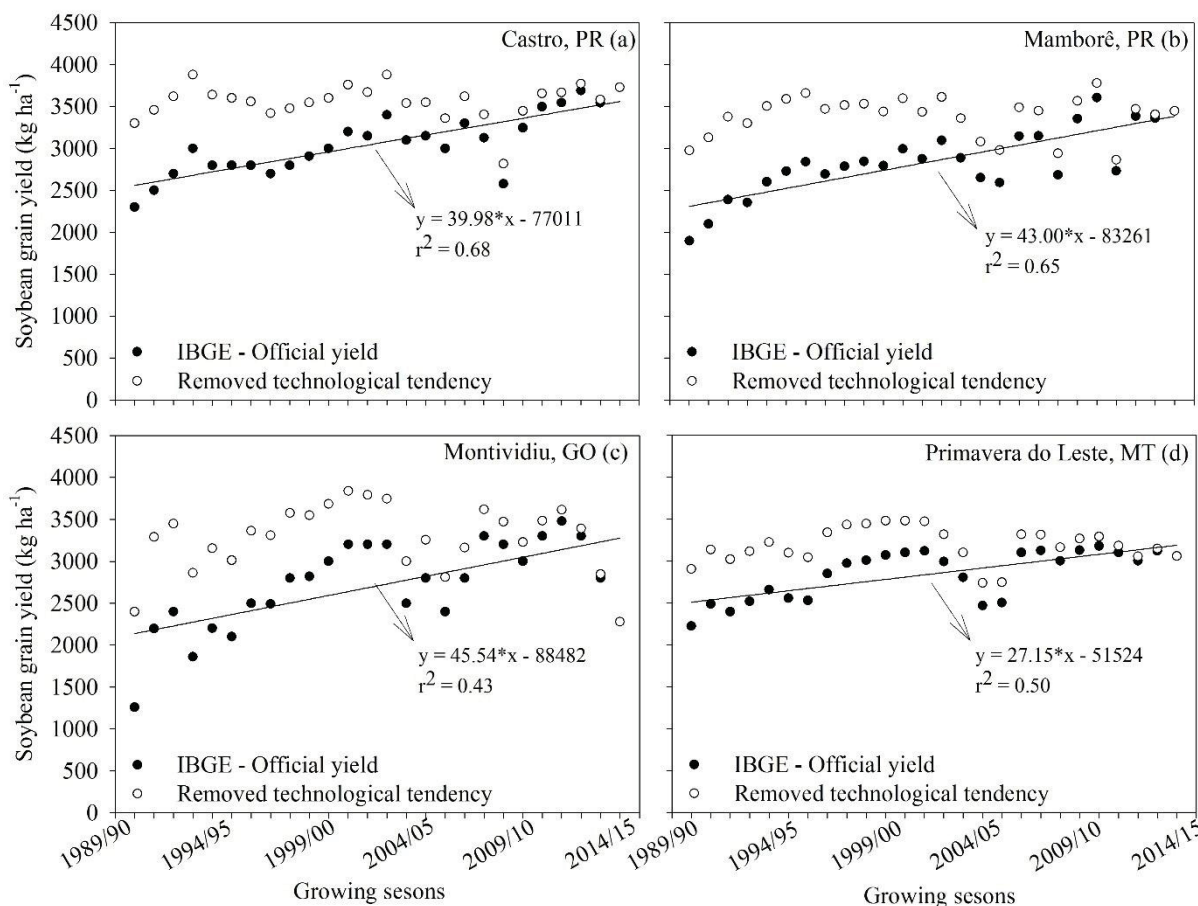


Figura 20 – Produção de grãos de soja obtida a partir de estatísticas oficiais (●) e rendimento com tendência tecnológica removida por regressão linear (○), considerando o período de 1989/90 a 2014/15, para os municípios de Castro, PR (a), Mamborê, PR (b), Montividiu, GO (c) e Primavera do Leste, MT (d), Brasil.

A taxa de melhoria da produção de soja por tecnologias avanço foi de 40, 43, 45 e 27 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de 1989/90 a Safras 2014/15, respectivamente, para Castro (Figura 20a), Mamborê (Figura 20b), Montividiu (Figura 20c) e Primavera do Leste (Figura 20d). Castro teve um rendimento municipal em torno de 2.500 kg ha⁻¹ Figura 20a) na estação de crescimento de 1989/90, enquanto na 2014/15, esse valor atingiu cerca de 3.500 kg ha⁻¹, resultando em um rendimento aumento de 40%. No mesmo período, Mamborê, Montividiu e Primavera do Leste teve um aumento na produção de soja, respectivamente, de 46%, 53% e 27%.

3.3.3 Fatores limitantes para alto rendimento da soja

3.3.3.1 Déficit hídrico

O YGWD teve diferentes níveis e padrões para os locais avaliados durante as safras de 1989/90 a 2014/15. A diferença no YGWD entre as regiões foram associados excepcionalmente com as condições meteorológicas. No Sul, períodos de seca são comuns durante o período de cultivo da soja. Castro –PR tem seu clima classificado como Cfb, enquanto Mamborê, PR, possui clima Cfa, de acordo com o clima de Köppen (ALVARES et al., 2013). Mamborê apresentou a maior média de YGWD, atingindo um valor de 1.367 kg ha^{-1} (Figura 21b). Neste local, o YGWD foi principalmente associados à textura do solo (desvio padrão, DP = 895 kg / ha) e épocas de crescimento (DP = 873 kg / ha), com menor efeito na semeadura grupos de datas e maturidade (DP < 94 kg / ha ; Tabela 12). O YGWD em Castro tinha uma média de 727 kg / ha (Figura 21a), onde a maior DP foi para a respectiva sequência: épocas de crescimento (DP = 641 kg / ha), textura do solo (DP = 567 kg / ha), grupos de maturidade (DP = 313 kg / ha) e data da semeadura (DP = 159 kg / ha ; Tabela 14).

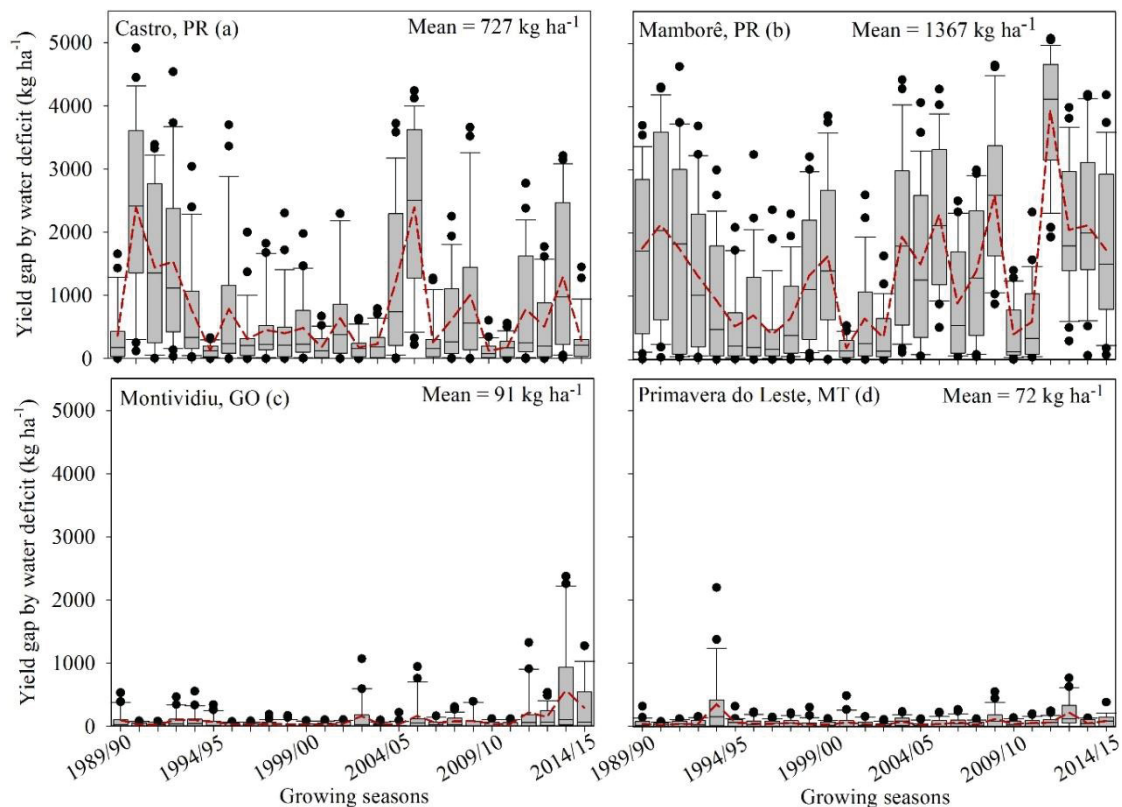


Figura 21 – Diferença de rendimento da soja causada pelo manejo agrícola subideal para os municípios de Castro, PR (a), Mamborê, PR (b), Montividiu, GO (c) e Primavera do Leste, MT (d) para o período de 1989/90 a 2014/15. As linhas vermelhas tracejadas indicam o valor médio para cada estação de cultivo de diferentes datas de semeadura, grupos de maturidade e tipos de solo considerados nas simulações. As barras são medianas, percentil 25-75% e 10-90%, e o preto aponta os outliers, com base em 24 combinações de gestão (4 datas de semeadura, 2 grupos de maturidade e 3 tipos de solo).

Esse resultados demonstram que o manejo da cultura pode ser considerado uma estratégia importante para reduzir o YGWD nos locais onde a variabilidade das chuvas limita a produção de soja, como em Mambore e Castro e esse manejo inclui a semeadura em solos com maior capacidade de retenção de água, o manejo para aumento do sistema radicular através do melhora da características químicas e físicas do solo, além de escolher as melhores datas de semeadura e cultivares (grupos de maturidade) da região (BATTISTI & SENTELHAS, 2014, 2015; RATTALINO et al., 2017).

Na região Centro-Oeste, o clima é classificado como Aw para os dois locais, na qual se caracteriza com precipitação anual concentrada entre setembro e abril, que coincide com a estação de crescimento da soja, tendo portanto uma chuva mais estável ao longo do crescimento da soja em comparação com a região sul do Brasil. Portanto, os áreas localizados na região Centro-Oeste, Montividiu (Figura 21c) e Primavera do Leste (Figura 21d) tiveram menor YGWD em comparação com a região sul, com uma média de 91 e 72 kg ha⁻¹, respectivamente. Nesses locais, o maior SD foi para o crescimento estações, com uma média de 117 kg ha⁻¹ para Montividiu e 71 kg ha⁻¹ para Primavera do Leste (Tabela 12). O segundo rendimento mais importante para fator de gap em Montividiu foi a textura do solo, atingindo 80 kg ha⁻¹, enquanto no grupo de maturidade de Primavera do Leste resultou em DP = 47 kg ha⁻¹.

Tabela 14. Desvio padrão (DP) para os fatores limitantes causados pelo déficit hídrico para estações de cultivo, textura de solos, datas de semeadura e grupos de maturidade para locais no Brasil.

Locais	SD (kg ha ⁻¹)			
	Estação de cultivo	Textura do solo	Data Semeadura	Grupo de Maturidade
Castro, PR	641	567	159	313
Mamborê, PR	873	895	94	83
Montividiu, GO	117	80	37	32
P. do Leste, MT	71	26	24	47

O baixo YGWD em Primavera do Leste e Montividiu sugere que as cultivares deve ser selecionadas por potencial de produção, com bases em características fisiológicas. (BATTISTI et al., 2017; SCHAPAUGH et al., 2016; KOESTER et al., 2014).

3.3.3.2 Manejo da cultura

O YGCM teve uma média de 1.067, 528, 984 e 848 kg ha⁻¹, para Castro (Figura 22a), Mamborê (Figura 21b), Montividiu (Figura 22c) e Primavera do Leste (Figura 22d). Esses

valores representam uma oportunidade para aumentos de rendimento, respectivamente, de 30%, 17%, 30% e 27%, uma vez que o YGCM pudesse ser fechado melhorando com práticas de manejo. Castro (Figura 21a) e Mamborê (Figura 221b) apresentaram as maiores variabilidade YGCM que Montividiu (Figura 22a) e Primavera do Leste (Figura 22d) entre as estações de crescimento.

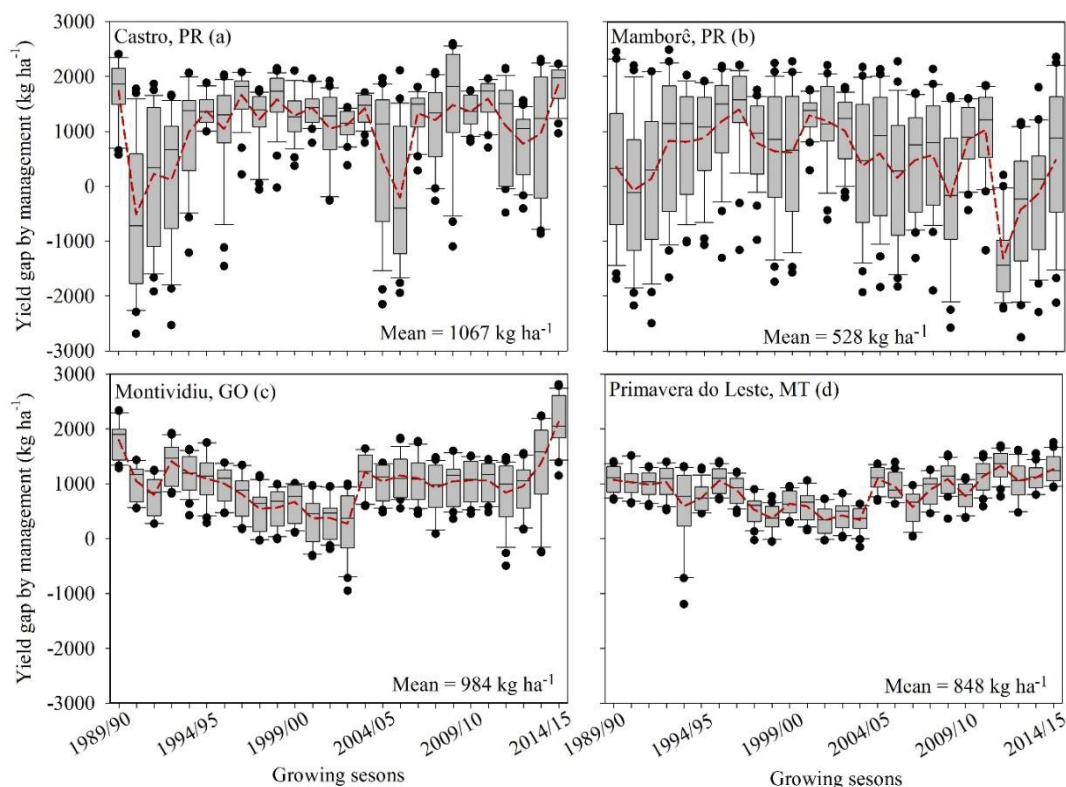


Figura 22 Diferença de rendimento da soja causada pelo manejo agrícola subideal para os municípios de Castro, PR (a), Mamborê, PR (b), Montividiu, GO (c) e Primavera do Leste, MT (d) para o período de 1989/90 a 2014/15. As linhas vermelhas tracejadas indicam o valor médio para cada estação de cultivo de diferentes datas de semeadura, grupos de maturidade e tipos de solo considerados nas simulações. As barras são medianas, percentil 25-75% e 10-90%, e o preto aponta os outliers, com base em 24 combinações de gestão (4 datas de semeadura, 2 grupos de maturidade e 3 tipos de solo).

Em Montividiu (Figura 22c) e Primavera do Leste (Figura 22d), uma redução no YGCM até 2003 – 2004. Todos os locais analisados apresentaram estações de crescimento com valores negativos para o YGCM (Figura 22).

O YGCM negativo representa que em alguma combinação dos insumos de gestão do modelo de cultura, como grupos de cultivo, datas de semeadura e tipos de solo, resultaram em um rendimento menor que o obtido em campo pelos agricultores médios do município. Outro aspecto a ser destacado é que nos locais nas regiões Centro-Oeste houve um aumento de YGCM

em torno da estação de crescimento 2004-2005, que foi associada, basicamente, por três razões: (a) introdução de transgênicos estrangeiros cultivares pouco adaptadas às condições de cultivo brasileiras (VAN BENTHEM, 2013); b) introdução da doença asiática da ferrugem da soja (GODOY et al., 2016), que aumentaram a perda de rendimento por baixo eficiência dos fungicida e falta de conhecimento sobre gerenciamento de controle; e c) aumento expressivo do milho como segunda safra (CONAB, 2017), forçado adoção de cultivares precoces de soja e datas de semeadura precoce, normalmente com menor potencial de rendimento.

Em Mamborê, foram encontrados 85% das estações de cultivo com YGCM negativo para as simulações usando a agregação do solo arenoso, as primeiros data de semeadura em 01 de outubro (Figura 23). O valor de YGCM caiu para apenas 8% quando o solo foi alterado para argila textura. Para Castro, um padrão semelhante foi observado, mas sem mais 50% das estações de crescimento com YGCM negativo (Figura 23). No Montividiu e Primavera do Leste, uma frequência mais baixa de foram observados valores para YGCM (Figura 23). Para todos esses locais, o melhor combinação de tipo de solo, data de semeadura e cultivar (maturidade grupo) resultou em uma redução dos valores negativos de YGCM

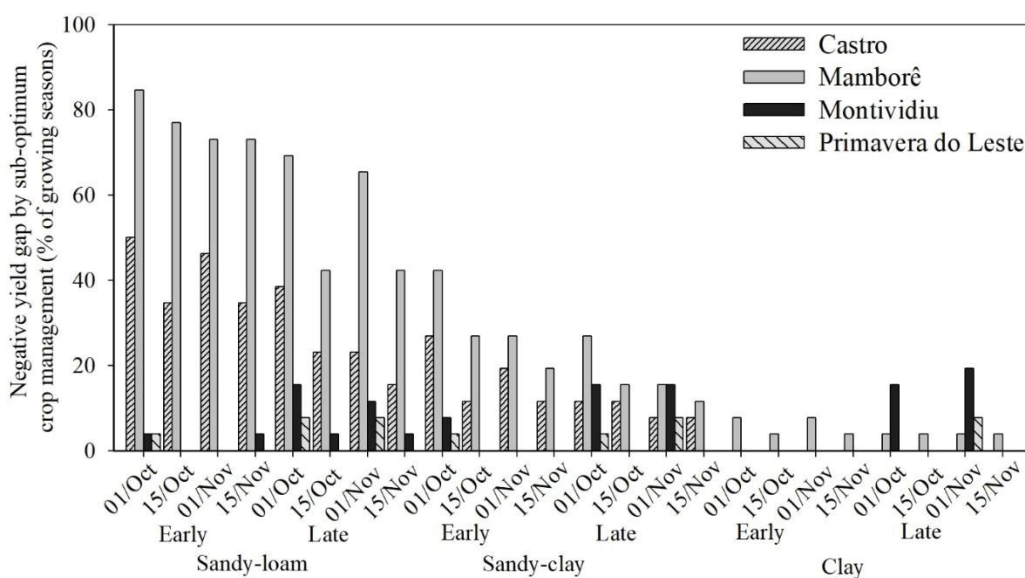


Figura 23 - Percentual de estações de cultivo com diferença de rendimento negativa pelo manejo de culturas sub-ótimo obtido a partir da agregação de diferentes datas de semeadura, grupos de maturidade e tipos de solo para simulação de rendimento de soja pelo modelo de cultura.

3.3.3.3 Referência de rendimento para determinação da diferença de rendimento

O tipo de rendimento usado como referência para estimar a diferença de rendimento também tem um grande impacto no nível de YGCM. Os rendimentos atingíveis simulados por o modelo de cultura calibrado ficou abaixo dos obtidos pela região Vencedores do CESB nas regiões Sul (Figura 24a) e Centro-Oeste (Figura 24b).

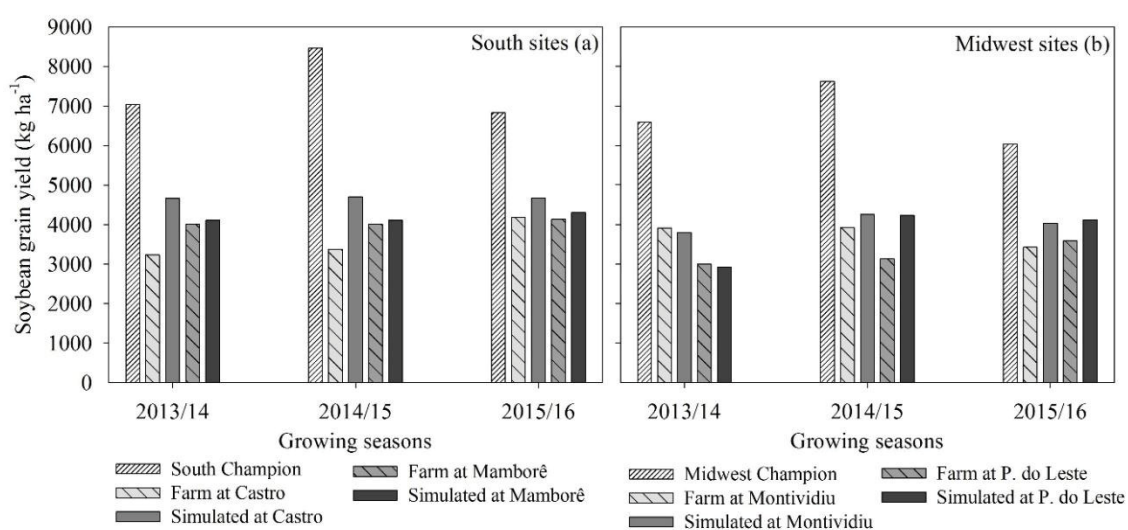


Figura 24 – Produção de grãos de soja medido em campeões regionais do concurso de produção de soja do CESB e medido e simulado (atingível) ao nível do agricultor para as safras 2013/14, 2014/15 e 2015/16 em Castro e Mamborê (a), e Montividiu e Primavera do Leste (b), Brasil.

Os vencedores do concurso de produção de soja da CESB atingiram rendimentos de 7.040, 8.460 e 6.840 kg / ha para a região Sul (Figura 24b) e 6.593, 7.620 e 6.038 kg ha⁻¹ para a região Centro-Oeste (Figura 24b), respectivamente, para as safras 2013/14, 2014/15 e 2015/16. Com base nesses novos rendimentos de referência, o YGCM médio em as experiências de campo foram, em média, de 3.622 kg ha⁻¹ nos locais de região Sul e 2.860 kg ha⁻¹ nos locais do Centro-Oeste do Brasil. Esses valores são expressivamente mais altos do que aqueles obtidos com rendimento sustentável do modelo de cultura como referência.

O rendimento de referência precisa ser considerado para as projeções de produção, verificando possível suprir a demanda futura de soja. A taxa esperada de aumento de rendimento até 2030 é de cerca de 2,6% ao ano no Brasil (OCDE, 2017). Portanto, estudos sobre fatores limitantes na produção de soja podem levar benefícios dos concursos nacionais de produção, subestimando as condições mentais enfrentadas pelos vencedores / melhores agricultores, com especial atenção às decisões de gestão dos agricultores que são tomadas com base em suas condições climáticas locais.

3.4 CONCLUSÃO

O presente estudo melhorou o conhecimento sobre a diferença de rendimento nas principais regiões de produção de soja no Brasil, considerando calibração de um modelo de cultura mecanicista (DSSAT-CSM-CROPGRO-Soja) por grupos de maturidade e não por cultivar. Os fatores limitantes do rendimento associadas à determinação do potencial de rendimento estão principalmente relacionadas textura do solo, data da semeadura e grupo de maturidade. Além disso o clima local afeta a YGWD, com limitações principalmente para épocas de cultivo, tipos de solo, datas de semeadura e grupos de maturidade. Os resultados encontrados nesse estudo podem ser usado para projetar cenários de melhorias rendimento da soja, com diferentes níveis de otimismo. Como a taxa anual o aumento da produção de soja observado entre 1990 e 2015 não atende à demanda para a próxima década (2020-2030), portanto é essencial reduzir a diferença de rendimento através de uma melhor compreensão cultivar e interações ambientais, solo e cultura adequados manejo adequado, controle adequado de doenças e pragas e correta nutrição, tendo como referência os manejos adotados vencedores do CESB e pelos melhores agricultores do município, a fim de tornar a produção de soja mais sustentável, uma vez que existem poucas oportunidades para expandir as áreas cultivadas no Brasil, bem como outras partes do mundo.

3.5 REFERENCIAS

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.

BATTISTI R.; BENDER, F.D.; SENTELHAS, P.C. (Assessment of different gridded weather data for soybean yield simulations in Brazil. **Theoretical and Applied Climatology. Approved**. 2018b.

BATTISTI, R., PARKER, P.S., SENTELHAS, P.C., NENDEL, C. (2017b). Gauging the sources of uncertainty in soybean yield simulations using the MONICA model. **Agricultural Systems**, v. 155: p. 9-18, 2017b.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C. (2017). Improvement of soybean resilience to drought through deep root system in Brazil. **Agronomy Journal**, v.109: p. 1612-1622, 2017.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C. Drought tolerance of Brazilian soybean cultivars simulated by a simple agrometeorological yield model. **Experimental Agriculture**, v. 51, p. 285-298, 2015.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C. New agroclimatic approach for soybean dates recommendation: a case study. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 1149–1156, 2014.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; BOOTE, K.J. Inter-comparison of performance of soybean crop simulation models and their ensemble in southern Brazil. **Field Crop Research**, v. 200, p. 28-37, 2017c.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; BOOTE, K.J. Sensitivity and requirement of improvements of four soybean crop simulation models for climate change studies in Southern Brazil. **International Journal of Biometeorology**, Online, 2017d.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; BOOTE, K.J.; CÂMARA, G.M.S.; FARIAS, J.R.B.; BASSO, C.J. Assessment of soybean yield with altered water-related genetic improvement traits under climate change in Southern Brazil. **European Journal of Agronomy**, v. 83, p. 1-14, 2017a.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; PASCOALINO, J.A.L.; SAKO, H.; DE SÁ DANTAS, J.P.; MORAES, M.F. **International Journal of Plant Production**, v. 12, p. 159-168, 2018a.

BOOTE K.J.; JONES J.W.; BATCHELOR W.D.; NAFZIGER E.D.; MYERS O. (2003). Genetic coefficients in the CROPGRO-Soybean model: Link to field performance and genomics. **Agronomy Journal**, v. 95, p. 32-51, 2003.

BOOTE, K.J.Improving soybean cultivars for adaptation to climate change and climate variability. **Crop adaptation to climate change**, Chapter 17, p. 370-395, 2011.

CESB – Comitê Estratégico Soja Brasil. Disponível em: <<http://www.desafiosoja.com.br>. Acesso em 20 set. 2016.

CONAB, 2017. Survey of Crop Season: Soybean. In Portuguese. <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&> (accessed 15.06.17).

DEL PONTE, E.M.; GODOY, C.V.; LI, X.; YANG, X.B. (2006). Predicting severity of Asian Soybean Rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, v. 96, p. 797-803, 2006.

EGLI, D.B.; HATFIELD, J.L. Yield gaps and yield relationships in Central U.S. soybean production systems. **Agronomy Journal**, v.106, p.560-566, 2014.

EMBRAPA. (1997). Manual for soil analysis (In Portuguese). Rio de Janeiro: EMBRAPA, 212 p.

EMBRAPA. (2011). Soybean production system. (In Portuguese.) EMBRAPA, Londrina.

GODOY, C.V.; SEIXAS, C.D.S.; SOARES, R.M.; MARCELINO-GUIMARÃES, F.C.; MEYER, M.C.; COSTAMILAN, L.M. Asian soybean rust in Brazil: past, present, and future. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 51: 407:421, 2016.

GRIMM, A.M.; FERRAZ, S. E.T.; GOMES, J. (1998). Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña Events. **Journal of Climate**, v. 11, p. 2863-2880, 1998.

GUILPART, N.; GRASSINI, P.; SADRAS, V.O.; TIMSINA, J.; CASSMAN, K.G. Estimating yield gaps at the cropping systems level. **Field Crop Research**, v. 206, p. 21-32, 2017.

HEINEMANN, A.B.; SENTELHAS, P.C. Environmental group identification for upland rice production in central Brazil. **Scientia Agrícola**, v. 68, p. 540–547, 2011.

HOFFMANN, M.P.; HAAKANA, M.; ASSENG, S.; HÖHN, J.G.; PALOSUO, T.; RUIZ-RAMOS, M.; FRONZEK, S.; EWERT, F.; GAISER, T.; KASSIE, B.T.; PAFF, K.; REZAEI, E.E.; RODRÍGUEZ, A.; SEMENOV, M.; SRIVASTAVA, A.K.; STRATONOVITCH, P.; TAO, F.; CHEN, Y.; RÖTTER, R.P. How does inter-annual variability of attainable yield affect the magnitude of yield gaps for wheat and maize? An analysis at ten sites. **Agricultural Systems**, Online, 2017.

IBGE, 2017. Agricultural Production. In Portuguese. <Http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam> (accessed in 12.02.16).

JIN, J.; LIU, X.; WANG, G.; MI, L.; SHEN, Z.; CHEN, X.; HERBERT, S.J. (2010). Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China. **Field Crops Research**, v. 115, p.116–123, 2010.

JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.J.; BATCHELOR, W.D.; HUNT, L.A.; WILKENS, P.W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A.J.; RITCHIE J.T. (2003). The DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**. v.18, p.234-265, 2003.

KEEP, N.R.; SCHAPAUGH, W.T.; PRASAD, P.V.V.; BOYER, J.E. Changes in physiological traits in soybean with breeding advancements. **Crop Science**, v. 56, p. 122–131, 2016.

KOESTER, R.P.; SKONECZKA, J.A.; CARY, T.R.; DIERS, B.W.; AINSWORTH, E.A. Historical gains in soybean (*Glycine max Merr.*) seed yield are driven by linear increases in light interception, energy conversion, and partitioning efficiencies. **Journal of Experimental Botany**, v.65, p. 3311–3321, 2014.

LOBELL, D. B.; CASSMAN, K.G.; FIELD, C. B. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. **Annual Review of Environment and Resources**, v.34: p. 179–204, 2009.

MAPA - Ministry of Agriculture, Livestock and Supply. Climate Risk Zoning. Available in: <http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola>. Acesso: July 2017.

MARCOLIN, C.D.; KLEIN, V.A. (2011). Determination of relative soil density through a pedotransfer function of maximum bulk density. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 33, p. 349–354, 2011.

MERLOS, F.A.; MONZON, J.P.; MERCAU, J.L.; TABOADA, M.; ANDRADE, F.H.; HALL, A.J.; JOBBAGY, E.; CASSMAN, K.G.; GRASSINI, P. (2015). Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. **Field Crop Research**, v. 184, p. 145-154, 2015.

MONTEIRO, L.A.; SENTELHAS, P.C. Sugarcane yield gap: can it be determined at national level with a simple agrometeorological model? **Crop and Pasture Science**, v. 68, p.272-284, 2017.

OECD (2017). "Oilseeds and Oilseed Products", in *OECD-FAO Agricultural Outlook 2017-2026*, Organization for economic co-operation and development (OECD) Publishing, Paris. http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-8-en.

RATTALINO, J.I.; MOURTZINIS, S.; CONLEY, S.P.; ROTH, A.C.; CIAMPITTI, I.A.; LICHT, M.A.; KANDEL, H.; KYVERYGA, P.M.; LINDSEY, L.E.; MUELLER, D.S.; NAEVE, S.L.; NAFZIGER, E.; SPECHT, J.E.; STANLEY, J.; STATON, M.J.; GRASSINI, P. Assessing causes of yield gaps in agricultural areas with diversity in climate and soils. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.247, p.170–180, 2017.

REICHERT, J.M.; ALBUQUERQUE, J.A.; KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; URACH, F.L.; CARLESSO, R. (2009). Estimation of water retention and availability in soil of Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33: p. 1547-1560, 2009.

SAKO, H.; ALVES, M.; MORAES, M.F.; TEIXEIRA, W.W.R.; LIMA, R.O.; SHIOZAKI, E.A. Decisive factors for yielding soybeans above 4200 kg/ha. No. 2. (In Portuguese.) Strategic Committee Soybean Brazil, Sorocaba., 2016a.

SAKO, H.; J.E. SOARES, L.A. SILVA, BALARDIN, R.. Rooting and soil calcium relationships for high crop yields in the growing season 15/16. No. 1. (In Portuguese.) Strategic Committee Soybean Brazil, Sorocaba. 2016b.

SALMERÓN, M.; PURCELL, L.C. Simplifying the prediction of phenology with the DSSAT-CROPGRO-Soybean model based on relative maturity group and determinacy. **Agricultural Systems**, v.148, p.178-187, 2016.

SENTELHAS, P.C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, J.R.B.; FARIAS, A. HAMPF,; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil-Magnitude, causes and possible solutions for a sustainable production. **Journal of Agricultural Science**. v.153, p.1394–1411, 2015.

SENTELHAS, P.C.; BATTISTI, R.; SAKO, H.; ZENI, R.; RODRIGUES, L.A. Climate and soybean yield: climate variability as a yield control. **Boletim de Pesquisa Fundação Mato Grosso**, 2017/2018: p. 26-41, 2017.

VAN BENTHEM, L. Soybean and maize production in Brazil: Production processes and profitability comparisons between transgenic and conventional varieties in Mato Grosso and Paraná. Msc management, economics and consumer studies. **Wageningen University and Research Center Department of Business Economics**, 2013.

VAN ITTERSUM, M.K.; CASSMAN, K.G.; GRASSINI, P.; WOLF, J.; TITTONELL, P.; HOCHMAN, Z. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance – A review. **Field Crops Research** v.143, p. 4–17, 2013.

VAN WART, J.; VAN BUSSEL, L.G.J.; WOLF, J.; LICKER, R.; GRASSINI, P.; NELSON, A.; BOOGAARD, H.; GERBER, J.; MUELLER, N.D.; CLAESSENS, L.; VAN ITTERSUM, M.K.; CASSMAN, K.G. Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. **Field Crops Research**. v.143 p.44-55, 2013.

WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C.M. (1985). Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, p. 8995–9005, 1985.

XAVIER, A.C.; KING, C.W.; SCANLON, B.R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, v.36, p. 2644-2659 2015.

5.0 CONCLUSÃO GERAL

O rendimento de soja no Brasil foi de 2.998 kg ha⁻¹ na última década, o que representa um aumento aproximado de duas vezes desde 1970. Esse incremento deve-se ao melhoramento genético, controle de plantas infestantes, pragas e doenças. No entanto, a produção de soja apresenta vários entraves impeditivos ao aumento expressivo das produtividades como as condições climática e o manejo nutricional. Embora existam trabalhos sobre absorção e remoção de nutrientes, as mudanças históricas nas características das variedades de soja e nas práticas de manejo alteraram as produtividades e as exigências nutricionais das cultivares de soja.

Os critérios para recomendação de adubação da cultura soja são baseados na reposição de nutrientes extraídos pelo grão. As concentrações de nutrientes diferem a medida que o rendimento aumentou, sendo que houve aumento na absorção de macronutrientes (kg t⁻¹) N = 95, P = 7,5; K = 44; e micronutrientes (g t⁻¹) Zn = 66; Mn = 69; B = 73; Fe = 257 e Cu = 21). Na remoção de macronutrientes (kg t⁻¹) N = 60; P = 4,7; K = 15,3; Mg = 2,6 e micronutrientes (g t⁻¹) B = 27 e Mn = 21,6) e translocação principalmente do S, portanto as taxas de fertilização de manutenção precisam de ajuste. Uma alternativa para driblar o custo da importação e aumentar a produtividade está no uso de fertilizantes especiais e tratamentos com micronutrientes, uma das estratégias constantes nos resultados dos vencedores do Desafio do CESB.

Diferentemente dos fertilizantes comuns, os foliares são de produção nacional, em sua maioria – cerca de 90% do total vendido no mercado nacional é fabricado no Brasil. Outra alternativa é a aplicação de fertilizantes via solo, porém é importante entender a dinâmica de nutrientes na rizosfera em áreas com alto rendimento para o futuro refinamento do manejo nutricional da cultura, pela recomendação racional de fertilizantes, visando assim, a manutenção da fertilidade do solo em níveis adequados.

Ao avaliar os atributos químicos em solo rizosférico e não rizosférico em três áreas de alto rendimento de soja na região Sul do Brasil foi possível concluir que a composição química do SR do SNR apresentou variações nos atributos químicos do solo sendo que o C, NO₃⁻, NH₄⁺, Fe e Cu foram superiores no SR em comparação ao SNR, ou seja houve ocorrência de acúmulo desses nutrientes na fração rizosférica, fato justificado devido à exsudação de ácidos orgânicos, mucilagens pelas plantas e pela atividade microbiana da rizosfera que altera a concentração e a absorção de nutrientes para as plantas. No entanto, os nutrientes com mobilidade limitada nos solos como P, K, Fe, Zn e Cu são transportados para raízes por difusão,

que é um processo lento. Esses nutrientes tiveram um acúmulo na SNR, sendo que a fração disponível para planta e a concentração na solução no SR pode ser insuficientes para satisfazer os requisitos das plantas.

Atributos químicos na grande maioria dos casos não apresentaram diferenças significativas entre as fazendas, sendo que as pequenas variações encontradas entre as fazendas podem ser justificadas pela composição do exsudado que varia com o material genético, as condições edafoclimáticas, metabolismo e o estado nutricional da planta. As diferenças nos atributos químicos entre as frações do solo confirmam a hipótese de que a análise de rotina não representa o que realmente está ocorrendo na interface raiz solo e fornece apenas uma aproximação da fração realmente disponível de nutrientes. Além disso, o agricultor deve considerar também os parâmetros que interferem na disponibilidade e retenção dos nutrientes (pH, CTC, textura) e aqueles que afetam o desenvolvimento das plantas (como o alumínio). Além dos atributos químicos do solo, certamente, um ambiente de alta produtividade de soja se viabiliza pelo conjunto de vários fatores produtivos. Embora os climáticos (temperatura, precipitação, radiação etc.) exerçam importante papel na formação desses ambientes as práticas de manejo também são relevantes para determinação do potencial produtivo. Portanto, seria de fundamental importância quantificar as diferenças de rendimento causadas por déficit hídrico e manejo subótimo das culturas, considerando os fatores limitantes associados à referência de rendimento, data de semeadura e tipo de solo. Considerando a calibração de um modelo de cultura mecanicista (DSSAT-CSM-CROPGRO-Soja) os fatores limitantes do rendimento associadas à determinação do potencial de rendimento estão principalmente relacionadas à textura do solo, data da semeadura e grupo de maturidade.

Além disso o clima local afeta a YGWD, com limitações principalmente para épocas de cultivo, tipos de solo, datas de semeadura e grupos de maturidade. Os resultados encontrados neste estudo podem ser usados para projetar cenários de melhorias de rendimento da soja, com diferentes níveis de otimismo. Como a taxa anual de aumento da produção de soja observado entre 1990 e 2015 não atende à demanda para a próxima década (2020-2030), portanto é essencial reduzir a diferença de rendimento através de uma melhor compreensão das interações ambientais, solo e cultura, manejo adequado, controle adequado de doenças e pragas e correta nutrição, tendo como referência os manejos adotados pelos vencedores do CESB e pelos melhores agricultores do município, a fim de tornar a produção de soja mais sustentável, uma vez que existem poucas oportunidades para expandir as áreas cultivadas no Brasil, bem como outras partes do mundo. A expectativa é que os resultados que vêm sendo demonstrados pelo CESB, por meio dos participantes do Desafio de Máxima Produtividade de

Soja, possam ser paulatinamente transferidos para o conjunto de sojicultores do Brasil. Dessa forma, nosso desafio passa a ser aumentar agressivamente a produtividade sustentável da soja brasileira, com menores impactos ambientais e maior rentabilidade para o produtor.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, p. 711-728, 2013.

ARAÚJO, A.P. e TEIXEIRA, M.G. **Nitrogen and phosphorus harvest indices of common bean cultivars**: implications for yield quantity and quality. *Plant Soil*, v. 257, p. 425-433, 2003.

ARCAND, M.M.; SCHNEIDER, K.D. Plant and microbial-based mechanisms to improve the agronomic effectiveness of phosphate rock: a review. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*. v. 78, p. 791–807, 2006.

BALBOA, G. R.; SADRAS, V. O.; CIAMPITTI, I. A. Shifts in soybean yield, nutrient uptake, and nutrient stoichiometry: A historical synthesis-analysis. *Crop Science*, vol. 58, p. 43-54, 2018.

BALBOA, G. R.; SADRAS, V. O.; CIAMPITTI, I. A. Shifts in soybean yield, nutrient uptake, and nutrient stoichiometry: A historical synthesis-analysis. *Crop Science*, v. 58, p. 43-54, 2018.

BATAGLIA, O.C.; MASCARENHAS, H.A.A., TEIXEIRA, J.P.F., TISSELI, F..Acúmulo de matéria seca e nutrientes, em soja cultivar Santa-Rosa. *Bragantia*. v.35, p. 237–247, 1976.

BATTISTI R.; BENDER, F.D.; SENTELHAS, P.C. (Assessment of different gridded weather data for soybean yield simulations in Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*. **Approved**. 2018b.

BATTISTI, R., PARKER, P.S., SENTELHAS, P.C., NENDEL, C. (2017b). Gauging the sources of uncertainty in soybean yield simulations using the MONICA model. *Agricultural Systems*, v. 155: p. 9-18, 2017b.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C. (2017). Improvement of soybean resilience to drought through deep root system in Brazil. *Agronomy Journal*, v.109: p. 1612-1622, 2017.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C. Drought tolerance of Brazilian soybean cultivars simulated by a simple agrometeorological yield model. *Experimental Agriculture*, v. 51, p. 285-298, 2015.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C. New agroclimatic approach for soybean dates recommendation: a case study. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, p. 1149–1156, 2014.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; BOOTE, K.J. Inter-comparison of performance of soybean crop simulation models and their ensemble in southern Brazil. **Field Crop Research**, v. 200, p. 28-37, 2017c.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; BOOTE, K.J. Sensitivity and requirement of improvements of four soybean crop simulation models for climate change studies in Southern Brazil. **International Journal of Biometeorology**, Online, 2017d.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; BOOTE, K.J.; CÂMARA, G.M.S.; FARIAS, J.R.B.; BASSO, C.J. Assessment of soybean yield with altered water-related genetic improvement traits under climate change in Southern Brazil. **European Journal of Agronomy**, v. 83, p. 1-14, 2017a

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; PASCOALINO, J. A. L.; SAKO, H.; DANTAS, J.P.S.; MORAES, M.F. Soybean yield gap in the areas of yield contest in Brazil. **International Journal of Plant Production**. v. 12, p. 159 – 168, 2018.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; PASCOALINO, J.A.L.; SAKO, H.; DE SÁ DANTAS, J.P.; MORAES, M.F. **International Journal of Plant Production**, v. 12, p. 159-168, 2018a.

BENDER, R.R., HAEGELE, J.W., BELOW, F.E., 2015. Nutrient Uptake, Partitioning, and Remobilization in Modern Soybean Varieties. **Agronomy Journal**. v. 107, p. 563 – 573, 2015.

BENIZRI, E.; DEDOURGE, O.; DIBATTISTA-LEBOEUF, C.; PIUTTI, S.; NGUVEN, C.; GUCKERT, A. Effect of maize rhizodeposits on soil microbial community structure. **Applied Soil Ecology**. 21, p. 261–265, 2002.

BONETTI, L. P. **Distribuição da soja no mundo: origem, história e distribuição**. In: Miyasaka, S.; Medina, J.C. (Ed.). *A soja no Brasil*. Campinas: ITAL, p. 1-6, 1981.

BOOTE K.J.; JONES J.W.; BATCHELOR W.D.; NAFZIGER E.D.; MYERS O. (2003). Genetic coefficients in the CROPGRO-Soybean model: Link to field performance and genomics. **Agronomy Journal**, v. 95, p. 32-51, 2003.

BOOTE, K.J. Improving soybean cultivars for adaptation to climate change and climate variability. **Crop adaptation to climate change**, Chapter 17, p. 370-395, 2011.

BORST, H.L., and THATCHER, L.E. Life history and composition of the soybean plant. Bull. 494. **Ohio Agricultural Experiment Station**. Stn., Wooster. p. 51–96, 1931.

BREMMER, J.M; EDWARD, H.P. Determination and isotope ratio analysis of difference from of nitrogen in soils. I. Apparatus and procedures for determination and determination for ammonium. Soil Science Society of America. **Proceedings**, Madison, 5, p.504-507, Sept. 1965.

CESB – Comitê Estratégico **Soja Brasil**. Disponível em: <<http://www.desafiosoja.com.br>>. Acesso em 20 set. 2016.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO RS/SC. **Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 3ed. Passo Fundo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, 1995. 224p.

CONAB, 2017. Survey of Crop Season: Soybean. In Portuguese. <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&> (accessed 15.06.17).

CORDEIRO, M.A.S.; CORÁ, J.E., NAHAS, E. Atributos bioquímicos e químicos do solo rizosférico e não rizosférico de culturas em rotação no sistema de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 36, p. 1794–1803, 2012.

CUBBAGE, S., 2010. World soybean yield record shattered – Again. **Missouri Soybean Farmer**, vol. 15. Missouri Soybean Association, Jefferson City, pp. 6 – 7, Also available at <http://mosoy.org/wp-content/uploads/news/WEB%20PDF-%20DEC%2010.pdf> Acesso em 20 set. 2016.

CUI, S.Y.; YU, D.Y. Estimates of relative contribution of biomass, harvest index and yield components to soybean yield improvements in China. **Plant Breeding**. v. 124, 473 – 476, 2005.

DEL PONTE, E.M.; GODOY, C.V.; LI, X.; YANG, X.B. (2006). Predicting severity of Asian Soybean Rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, v. 96, p. 797-803, 2006.

DOANE, T.A.; HORWATH, W.R. Spectrophotometric determination of nitrate with a single reagent. **Journal Analytical Letters**. v. 36, p. 2713–2722, 2003.

DOTANIYA, M.L.; MEENA, V.D., 2015. Rhizosphere Effect on Nutrient Availability in Soil and Its Uptake by Plants: A Review. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences**. v. 85, p. 1–12, 2015.

EGLI, D.B.; HATFIELD, J.L. Yield gaps and yield relationships in Central U.S. soybean production systems. **Agronomy Journal**, v.106, p.560-566, 2014.

EMBRAPA, Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. In: **Tecnologias De Produção De Soja. Região Central do Brasil 2012 e 2013**, Embrapa Soja, Londrina, pp. 261, 2011.

EMBRAPA. (1997). Manual for soil analysis (In Portuguese). Rio de Janeiro: EMBRAPA, 212 p.

EMBRAPA. (2011). Soybean production system. (In Portuguese.) EMBRAPA, Londrina.

FEHR, W.R., CAVINESS, C.E., 1977. **Stages of Soybean Development**. Cooperative Extension Service. Iowa Agric. Home. Exp. Stn. Special Report. 87. Iowa State University, 1977.

FLANNERY, R.L.. **The use of maximum yield research technology in soybean production**. In: Munson, R. (Ed.), *The Physiology, Biochemistry, Nutrition, and Bioengineering of Soybeans: Implications for Future Management*. PPI/PPIC, Nacross, GA, pp. 160–174, 1989.

FOULKES, M.J; REYNOLDS, M.P.; SYLVESTER, B. R Genetic improvement of grain crop: Yield potential. In *Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy*. SANDRAS, V.O and CALDERINI, D.F (Eds.), p. 355 – 385 Elsevier, Burlington, MA, 2009.

GASPAR, A.; LABOSKI, C.; NAVE, S.; CONLEY, S. Dry matter and nitrogen uptake, partitioning, and removal across a wide range of soybean seed yield levels. **Crop Science**. vol 57, p. 2170 – 2182, 2017.

GASPAR, A.; LABOSKI, C.; NAVE, S.; CONLEY, S. Dry matter and nitrogen uptake, partitioning, and removal across a wide range of soybean seed yield levels. **Crop Science**. vol 57, p. 2170 – 2182, 2017.

GODOY, C.V.; SEIXAS, C.D.S.; SOARES, R.M.; MARCELINO-GUIMARÃES, F.C.; MEYER, M.C.; COSTAMILAN, L.M. Asian soybean rust in Brazil: past, present, and future. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 51: 407:421, 2016.

GRAYSTON, S. J.; WANG, S.; CAMPBELL, C. D.; EDWARDS, A. C. Selective influence of plant species on microbial diversity in the rhizosphere. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 30, p. 369–378, 1998.

GRIMM, A.M.; FERRAZ, S. E.T.; GOMES, J. (1998). Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña Events. **Journal of Climate**, v. 11, p. 2863-2880, 1998.

GUILPART, N.; GRASSINI, P.; SADRAS, V.O.; TIMSINA, J.; CASSMAN, K.G. Estimating yield gaps at the cropping systems level. **Field Crop Research**, v. 206, p. 21-32, 2017.

HAMMOND, L. C.; BLACK, C. A.; NORMAN, A. G. "Nutrient uptake by soybeans on two Iowa soils,"**Research Bulletin (Iowa Agriculture and Home Economics Experiment Station)**: v. 30, p.463 - 498, 1951.

HANWAY, J.J. and WEBER, C.R. Accumulation of N, P, and K by soybean [*Glycine max (L.) Merrill*] plants. **Agronomy Journal**. v. 63, p. 406–408, 1971a.

HANWAY, J.J. and WEBER, C.R. Dry Matter accumulation in eight Soybean (*Glycine max (L.) Merrill*) varieties. **Agronomy Journal**. v.63, p. 227 – 230, 1971b.

HANWAY, J.J. and WEBER, C.R. Dry matter accumulation in soybean (*Glycine max (L.) Merrill*) plants as influenced by N, P, and K fertilization. **Agronomy Journal**. v. 63 p. 263 – 266, 1971c.

HANWAY, J.J., and C.R. Weber. 1971b. **Dry matter accumulation in eight soybean (*Glycine max (L.) Merrill*) varieties**. *Agron. J.* 63:227–230. doi:10.2134/agronj1971.00021962006300020009x

HANWAY, J.J., Dunphy, E.J., Loberg, G.L., Shibles, R.M., State, I., 1984. **Dry weights and chemical composition of soybean plant parts throughout the growing season**. *J. Plant Nutr.* 7, 1453–1475. doi:10.1080/01904168409363294.

HARPER, J.E. Seasonal nutrient uptake and accumulation pat-terns in soybeans. **Crop Science**. v. 11, p. 347 – 350, 1971.

HARTMAN, L.G.; WEST, E.D.; HERMAN, T.K. Crops that Feed the World 2. Soybean Worldwide Production, Use and Constraints caused by Pathogens and pests. **Food Security**. v. 3 p.5 – 17, 2011.

HEINEMANN, A.B.; SENTELHAS, P.C. Environmental group identification for upland rice production in central Brazil. **Scientia Agrícola**, v. 68, p. 540–547, 2011.

HINSINGER, P. How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. **Advances in Agronomy** v. 64, p. 225–265, 1998.

HINSINGER, P.; GILKES, R.J. Mobilization of phosphate from phosphorus rock and alumina-sorbed phosphate by the roots of ryegrass and clover as related to rhizosphere pH. **European Journal of Soil Science** v. 47, p. 533–544, 1996.

HOFFMANN, M.P.; HAAKANA, M.; ASSENG, S.; HÖHN, J.G.; PALOSUO, T.; RUIZ-RAMOS, M.; FRONZEK, S.; EWERT, F.; GAISER, T.; KASSIE, B.T.; PAFF, K.; REZAEI, E.E.; RODRÍGUEZ, A.; SEMENOV, M.; SRIVASTAVA, A.K.; STRATONOVITCH, P.; TAO, F.; CHEN, Y.; RÖTTER, R.P. How does inter-annual variability of attainable yield affect the magnitude of yield gaps for wheat and maize? An analysis at ten sites. **Agricultural Systems**, Online, 2017.

HOUX, J.H.; WIEBOLD, W.J.; FRITSCHI, F.B.; Rotation and tillage affect soybean grain composition yield and nutriente removal. **Field Crops Research**. v. 164, p. 12 – 21, 2014.

HYLANDER, L. D.; AE N.; HUTTA, E.; SUGIYAMA, M. Exploitation of K near roots of cotton, maize, upland rice, and soybean grown in an Ultisol. **Plant Soil**. v. 208, p. 33 -41, 1999. IBGE, 2017. Agricultural Production. In Portuguese. [Http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam](http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam) (accessed in 12.02.16).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção Agrícola, 2014/15.** Disponível Em: www.Ibge.Gov.Br/Home/Estatistica/Indicadores/Agropecuaria/Lspa Acesso: 18 Out. 2015.

IRWIN, S., and D. Good. "Forming Expectations for the 2015 U.S. **Average Corn Yield: What Does History Teach Us?**" *farmdoc daily* (5):36, Department of Agricultural and Consumer Economics, University of Illinois at Urbana-Champaign, February 26, 2015.

JIN J, Liu K, Wang G, Mi L, Shen Z, Chen X, Herbert SJ. 2010. **Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China.** *Field Crops Research* 115, 116–123.

JIN, J.; LIU, K.; WANG, G.; MI, L.; SHEN, Z.; CHEN, X.; HERBERT, S.J. Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China. **Field Crops Research**. vol. 115, p. 116 – 123, 2010.

JIN, J.; LIU, X.; WANG, G.; MI, L.; SHEN, Z.; CHEN, X.; HERBERT, S.J. (2010). Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China. **Field Crops Research**, v. 115, p.116–123, 2010.

JONES, D.L., HODGE, A.; KUZYAKOY, Y. Plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. **New Phytologist**, v. 163, p. 459 – 480, 2004.

JONES, D.L., KOCHIAN, L. V.. Aluminium-organic acid interactions in acid soils. **Plant Soil**. v. 182, p. 221–228, 1996.

JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.J.; BATCHELOR, W.D.; HUNT, L.A.; WILKENS, P.W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A.J.; RITCHIE J.T. (2003). The DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**. v.18, p.234-265, 2003.

KANTOLIC, A.G., Slafer, G.A., 2007. **Development and seed number in indeterminate soybean as affected by timing and duration of exposure to long photoperiods after flowering**. *Ann. Bot.* 99, 925–933.

KEEP, N.R.; SCHAPAUGH, W.T.; PRASAD, P.V.V.; BOYER, J.E. Changes in physiological traits in soybean with breeding advancements. **Crop Science**, v. 56, p. 122–131, 2016.

KIIHL, R.A.S. & A. Garcia. **The use of the long juvenile trait in breeding soybean cultivars**. In: Conferencia Mundial de Investigacion en Soja, 4. Buenos Aires, Argentina. 1989. Actas. A.J. Pascale (ed.). p.994-1000.

KOESTER, R.P.; SKONECZKA, J.A.; CARY, T.R.; DIERS, B.W.; AINSWORTH, E.A. Historical gains in soybean (*Glycine max Merr.*) seed yield are driven by linear increases in light interception, energy conversion, and partitioning efficiencies. **Journal of Experimental Botany**, v.65, p. 3311–3321, 2014.

KOESTER, R.P.; SKONECZKA, J.A.; DIERS, B.W.; AUBSWIRTG E.A. Historic gains in soybean seed yield are driven by linear increases in light interception, energy conversion, and partitioning efficiencies. **Journal of Experimental Botany**. v. 65 p. 3311–3321, 2014.

KURIHARA C. H. **Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional**. (Tese) de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 100p, 2004.

LAMMEL, D.R., FEIGL, B.J.; CERRI, C.C.; NUSSLEIN, K. Specific microbial gene abundances and soil parameters contribute to C, N, and greenhouse gas process rates after land use change in Southern Amazonian Soils. **Front**. v. 6, p. 1–14, 2015.

LIU, G.; YANG, C.; XU, K.; ZHIANG, Z.; DAYONG L.; ZHIHAI, W.; ZHANYU, C.; Development of yield and some photosynthetic characteristics during 82 years of genetic improvement of soybean genotypes in northeast China. — **Australian. Journal Crop Science**. v. 6, n. 10, p. 1416–1422, 2012.

LOBELL, D. B.; CASSMAN, K.G.; FIELD, C. B. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. **Annual Review of Environment and Resources**, v.34: p. 179–204, 2009.

LOOSEMORE, N.; STRACZEK, A.; HINSINGER, P.; JAILLARD, B. Zinc mobilisation from a contaminated soil by three genotypes of tobacco as affected by soil and rhizosphere pH. **Plant Soil** v. 260, p. 19–32, 2004.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFÓS, p. 319, 1997.

MAPA - Ministry of Agriculture, Livestock and Supply. Climate Risk Zoning. Available in: <http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola>. Acesso: July 2017.

MARCOLIN, C.D.; KLEIN, V.A. (2011). Determination of relative soil density through a pedotransfer function of maximum bulk density. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 33, p. 349–354, 2011.

MASCARENHAS, H.A.A.; NEPTUNE, A.M.L.; MURAOKA, T.; BULISANI, E.A. & HIROCE, R. Absorção de nutrientes por cultivares de soja (*Glycine max(L.) Merril*). **Revista Brasileira Ciência do Solo**. v. 4, p. 92-96, 1980.

MENDES, G. O.; FREITAS, A. L. M.; PEREIRA, O. L.; DA SILVA, I. R.; VASSILEV, N. B.; COSTA, M. D. Mechanisms of phosphate solubilization by fungal isolates when exposed to different P sources. **Annals of Microbiology**, v. 64. p., 239-249, 2014.

MERLOS, F.A.; MONZON, J.P.; MERCAU, J.L.; TABOADA, M.; ANDRADE, F.H.; HALL, A.J.; JOBBAGY, E.; CASSMAN, K.G.; GRASSINI, P. (2015). Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. **Field Crop Research**, v. 184, p. 145-154, 2015.

MONTEIRO, L.A.; SENTELHAS, P.C. Sugarcane yield gap: can it be determined at national level with a simple agrometeorological model? **Crop and Pasture Science**, v. 68, p.272-284, 2017.

MORITSUKA, N.; YANAI, J.; KOSAKI, T. Effect of plant growth on the distribution and forms of soil nutrients in the rhizosphere. **Soil Science and Plant Nutrition** v. 46, p. 439-447, 2000.

MORITSUKA, N.; YANAI, J.; KOSAKI, T..Possible processes releasing nonexchange-able potassium from the rhizosphere of maize. **PlantSoil**. v. 258, p. 261–268, 2004.

NEUMANN, G.; GEORGE, T.S.; PLASSARD, C. Strategies and methods for studying the rhizosphere-the plant science toolbox. **Plant Soil** v. 321, p. 431–456, 2009.

OECD (2017). "Oilseeds and Oilseed Products", in *OECD-FAO Agricultural Outlook 2017-2026*, Organization for economic co-operation and development (OECD) Publishing, Paris. http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-8-en.

ORLOWSKI, J.M.; GREGG, G.L.; LEE, C.D. Early -season lactofen application has limited effect on soybean branch and mainstem yield componentes. **Crop Science**. vol 56, p. 432 – 438, 2016.

PADOVAN, M.P., Lopes De Almeida, D., Marinho Guerra, J.G., Duarte Ribeiro, R.D.L., Ndiaye, A., 2002. **Avaliação de cultivares de soja, sob manejo orgânico, para fins de adubação verde e produção de grãos**. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 37, 1705–1710. doi:10.1590/S0100-204X2002001200005

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. C.; MYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina: IAPAR, 1992, 40 p. (Circular 76).

PERINI, L. J.; FONSECA JÚNIOR, N. S.; DESTRO, D.; PRETE, C. E. C. Componentes da produção em cultivares de soja com crescimento determinado e indeterminado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, p. 2531-2544, 2012.

RATTALINO EDREIRA, R.J.I.; MOURTZINIS, S.; CONLEY, S.P.; ROTH, A.C.; CIAMPITTI, I.A.; LICHT, M.A.; KANDEL, H.; KYVERYGA, P.M.; LINDSEY, L.E.; MUELLER, D.S.; NAEVE, S.L.; NAFZIGER, E.; STANLEY, J.; STATON, M.J.; GRASSINI, P. Assessing causes of yield gaps in agricultural areas with diversity in climate and soils. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 247 p. 170–180, 2017.

RATTALINO, J.I.; MOURTZINIS, S.; CONLEY, S.P.; ROTH, A.C.; CIAMPITTI, I.A.; LICHT, M.A.; KANDEL, H.; KYVERYGA, P.M.; LINDSEY, L.E.; MUELLER, D.S.; NAEVE, S.L.; NAFZIGER, E.; SPECHT, J.E.; STANLEY, J.; STATON, M.J.; GRASSINI, P. Assessing causes of yield gaps in agricultural areas with diversity in climate and soils. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.247, p.170–180, 2017.

REICHERT, J.M.; ALBUQUERQUE, J.A.; KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; URACH, F.L.; CARLESSO, R. (2009). Estimation of water retention and availability in soil of Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33: p. 1547-1560, 2009.

SADANA, U.S.; KUSUM L.; CLAASSEN N. Manganese efficiency of wheat cultivars as related to root growth and internal manganese requirement. **Journal of Plant Nutrition**. v. 25, p. 2677–2688, 2002.

SAKO, H.; ALVES, M.; MORAES, M.F.; TEIXEIRA, W.W.R.; LIMA, R.O.; SHIOZAKI, E.A. Decisive factors for yielding soybeans above 4200 kg/ha. No. 2. (In Portuguese.) Strategic Committee Soybean Brazil, Sorocaba., 2016a.

SAKO, H.; J.E. SOARES, L.A. SILVA, BALARDIN, R.. Rooting and soil calcium relationships for high crop yields in the growing season 15/16. No. 1. (In Portuguese.) Strategic Committee Soybean Brazil, Sorocaba. 2016b.

SALMERÓN, M.; PURCELL, L.C. Simplifying the prediction of phenology with the DSSAT-CROPGRO-Soybean model based on relative maturity group and determinacy. **Agricultural Systems**, v.148, p.178-187, 2016.

SEIFFERT, S.; KASELOWSKY, J.; JUNGK, A.; CIAASSEN, N. Observed and calculated potassium uptake by maize as affected by soil water content and bulk density. **Agronomy Journal**. v. 87, p. 1070–1077, 1995.

SENTELHAS, P.C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, J.R.B.; FARIAS, A. HAMPF.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil-Magnitude, causes and possible solutions for a sustainable production. **Journal of Agricultural Science**. v.153, p.1394–1411, 2015.

SENTELHAS, P.C.; BATTISTI, R.; SAKO, H.; ZENI, R.; RODRIGUES, L.A. (2017). Clima e produtividade da soja: variabilidade climática e controle da produtividade. **Boletim de Pesquisa Fundação Mato Grosso**, v. 537, p.26 -41, 2017.

SHEN, J.; Li, C., Mi, G., Li, L., Yuan, L., Jiang, R., Zhang, F. Maximizing root/rhizosphere efficiency to improve crop productivity and nutrient use efficiency in intensive agriculture of China. **Journal of Experimental Botany**. v. 64, p. 1181–1192, 2013.

SINCLAIR, T. R. **Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation**. *Crop. science*, v. 38, p. 638-643, 1998.

SOUZA, L.H.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; DE ALBUQUERQUE VILANNI, E.M.; Efeito do pH do solo rizosférico e não rizosférico de plantas de soja inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na absorção de boro, cobre, ferro, manganês e zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 34, p. 1641–1652, 2010.

SPECHT, J. E., Hume, D. J. and Kumudini, S. V. (1999). **Soybean yield potential a genetic and physiological perspective**. *Crop Science*, 39, 1560–1570.

TANIKAWA, T.; SOBUE, A.; HIRANO, Y. Acidification processes in soils with different acid buffering capacity in *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* forests over two decades. **Forest Ecology and Management**. v. 334, p. 284 – 292, 2014.

TOLIVER, D.K.; LARSON, J.A; ROBERTS, R.K.; ENGLISH, B.C.; UGARTE, D.G.L.T, WEST, T.O. Effects of No-Till on Yields as Influenced by Crop and Environmental Factors. **Agronomy Journal**. v. 104, p. 530 – 541, 2012.

USDA-National Agricultural Statistics Service, 2016. **Quick Stats 2.0**. U.S. and World Data agriculture. USDA-NASS, Washington, DC.

VAN BENTHEM, L. Soybean and maize production in Brazil: Production processes and profitability comparisons between transgenic and conventional varieties in Mato Grosso and Paraná. Msc management, economics and consumer studies. **Wageningen University and Research Center Department of Business Economics**, 2013.

VAN ITTERSUM, M.K.; CASSMAN, K.G.; GRASSINI, P.; WOLF, J.; TITTONELL, P.; HOCHMAN, Z. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance – A review. **Field Crops Research** v.143, p. 4–17, 2013.

VAN ROEKEL, R.J., Purcell, L.C., 2014. **Soybean biomass and nitrogen accumulation rates and radiation use efficiency in a maximum yield environment**. *Crop Sci*. 54, 1189–1196.

VAN WART, J.; VAN BUSSEL, L.G.J.; WOLF, J.; LICKER, R.; GRASSINI, P.; NELSON, A.; BOOGAARD, H.; GERBER, J.; MUELLER, N.D.; CLAESSENS, L.; VAN ITTERSUM, M.K.; CASSMAN, K.G. Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. **Field Crops Research**. v.143 p.44-55, 2013.

WALTER, N.; VEGA, O. A review on beneficial effects of rhizosphere bacteria on soil nutrient availability and plant nutrient uptake. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín** v. 60, p. 3621–3643, 2007.

WANG, Z.Y.; KELLY, J.M.; KOVAR, J.L. Depletion of macro-nutrients from rhizosphere soil solution by juvenile corn, cottonwood, and switchgrass plants. **Plant Soil** v. 270, p. 213–221, 2007.

WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C.M. (1985). Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, p. 8995–9005, 1985.

XAVIER, A.C.; KING, C.W.; SCANLON, B.R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, v.36, p. 2644-2659 2015.

ZHAO, Q.; ZENG, D.H.; FAN, Z.P. Nitrogen and phosphorus transformations in the rhizospheres of three tree species in a nutrient-poor sandy soil. **Applied Soil Ecology**. v. 46, p. 341–346, 2010.

APÊNDICE 1

Tabela 14 - Características químicas do solo e granulometria (0-20 cm) nos locais onde os experimentos foram conduzidos.

Parâmetros	Sul		Centro Oeste	
	Castro	Mamborê	Montividiu	Primavera do L.
pH (CaCl ₂)	5.4 ± 0.4	5.0 ± 0.1	5.2 ± 0.2	5.2 ± 0.1
	-----cmolc dm ⁻³ -----			
H+Al	3.8 ± 0.4	4.4 ± 0.3	2.5 ± 0.3	2.0 ± 0.3
Ca	4.7 ± 1.1	4.6 ± 0.4	3.8 ± 0.3	2.9 ± 0.3
Mg	2.0 ± 0.5	1.2 ± 0.2	1.1 ± 0.2	1.1 ± 0.1
K	0.7 ± 0.3	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.01
CTC _{pH7}	11.2 ± 1.5	10.5 ± 0.5	7.7 ± 0.3	6.3 ± 0.2
	-----mg dm ⁻³ -----			
Ca	940 ± 222	926 ± 81	753 ± 56	585 ± 54
Mg	247 ± 64.2	151 ± 24	138 ± 21	130 ± 12
K	263.1 ± 103.3	89.1 ± 34.3	118.8 ± 35.8	113.6 ± 5.3
P	25.9 ± 20.4	14.2 ± 4.7	32.6 ± 5.0	9.1 ± 1
Cu	3.7 ± 0.5	9.6 ± 2.5	2.6 ± 0.6	0.9 ± 0.5
Mn	32.4 ± 5.8	43.8 ± 9.8	18.2 ± 1.1	9.0 ± 1.6
Fe	40.6 ± 1.2	43.8 ± 3.6	43.1 ± 4.6	113.6 ± 5.3
Zn	16.1 ± 3.8	2.1 ± 0.4	10.2 ± 1.3	5.5 ± 5.7
	-----%-----			
C	22.8 ± 1.7	20.8 ± 0.7	21 ± 0.6	14.8 ± 0.6
Argila	57.2	76	56.7	44.6
Silte	17.5	14.3	16.6	4.1
Areia	25.3	9.7	27.7	51.3

Tabela 15.- Correlação de Pearson entre fatores produtivos, nutricionais e ambientais nos locais onde os experimentos foram conduzidos.

Produtividade vs	Farm			
	Castro	2	3	4
Massa de mil grãos	0.72*	0.87*	0.73*	0.73*
Índice de colheita	0.95*	0.11	0.66*	0.66*
Precipitação acumulada R6 - R8	-0.39	-0.72*	-0.18	-0.74*
Temperatura máxima plantio - R3 - R6	-0.62	-0.76*	0.58	-0.8*
Radiação solar acumulada durante ciclo	0.69*	0.45	0.69*	-0.62
Radiação solar acumulada Plantio - R3	0.64	-0.06	-0.69*	0.84*
Teor N planta	-0.79	-0.71*	0.40	-0.60
Teor N caule	-0.78*	-0.32	0.41	-0.73*
Teor N folha superior	-0.79*	-0.19	0.47	-0.67*
Teor P planta	-0.5	-0.55	0.56	-0.75*
Teor K planta	-0.55	-0.05	0.04	0.76*
Teor K grão	-0.02	-0.45	-0.65	0.90*
Teor Ca planta	0.44	0.54	-0.38	0.80*
Teor Mg grão	0.43	-0.06	-0.32	0.70*
Teor S grão	0.03	0.20	0.55	0.80*
Teor S planta	-0.27	0.04	-0.38	0.71*
Teor B grão	-0.37	0.36	-0.03	0.79*
Teor Zn grão	-0.57	0.25	0.25	0.74*
Teor Mn grão	0.27	0.47	-0.10	0.92*
Teor Mn planta	0.54	0.40	-0.55	0.81*
Teor Zn planta	-0.62	-0.12	0.36	0.83*
Extração de Zn	-0.74*	0.31	-0.71*	0.73*
Teor Fe planta	0.42	0.49	-0.32	0.83*
Teor de Fe caule	0.71*	0.35	-0.48	0.54
Teor Fe folha diagnose	0.35	0.49	0.16	-0.74*
Teor de Fe folha inferior	0.33	0.47	0.14	0.82*
Teor Fe na vagem	0.53	0.77*	-0.71*	0.27
Extração de Zn	-0.74*	0.31	-0.71*	0.73*
Extração Mn	0.12	0.46	-0.82*	0.84*
Índice de colheita vs				
Massa de mil grãos	0.78*	0.11	0.94*	0.64
Precipitação acumulada R3 - R6	0.76*	-0.88*	0.95*	-0.76*
Temperatura máxima plantio - R3	0.76*	*0.85	0.35	0.73*
Radiação solar acumulada Plantio - R3	0.69*	0.96*	-0.69*	0.50
Radiação solar acumulada R6 - R8	-0.04	-0.87	0.69*	-0.74*
Massa de mil grãos vs				
Precipitação acumulada Plantio - R3	0.88*	-0.78*	-0.36	-0.92*
Precipitação acumulada R3 - R6	0.73*	-0.46	0.91*	-0.90*
Precipitação acumulada R6 - R8	-0.06	-0.74*	-0.76*	-0.93*
Temperatura máxima plantio - R3 - R6	-0.89*	-0.83*	0.34	-0.92*

APÊNDICE 2

Tabela 16 -- Absorção de nutrientes pela soja nos locais onde os experimentos foram conduzidos durante três anos agrícolas.

Nutrientes	Castro-PR			Mamborê-PR			Montividiu-GO			Primavera do Leste-MT		
	2013/14	2014/15	2015/16	2013/14	2014/15	2015/16	2013/14	2014/15	2015/16	2013/14	2014/15	2015/16
Biomassa	11080 ± 725	10934 ± 993	9637 ± 634	20680 ± 2088	8886 ± 384	9216 ± 506	7121 ± 367	13102 ± 1301	17823 ± 3263	8232 ± 998	10426 ± 379	9343 ± 691
N	419 ± 27	365 ± 39	362 ± 29	711 ± 83	288 ± 16	317 ± 22	270 ± 17	435 ± 42	628 ± 112	240 ± 36	301 ± 10	293 ± 54
P ₂ O ₅	75 ± 7	75 ± 5	63 ± 7	138 ± 17	55 ± 3	62 ± 2	49 ± 2	83 ± 10	103 ± 18	48 ± 7	61 ± 4	51 ± 7
K ₂ O	239 ± 23	220 ± 13	169 ± 16	344 ± 40	177 ± 5	179 ± 8	148 ± 7	251 ± 26	335 ± 67	150 ± 18	171 ± 8	199 ± 23
Ca	65 ± 9	86 ± 12	62 ± 6	129 ± 7	64 ± 3	57 ± 5	47 ± 3	89 ± 11	108 ± 25	36 ± 4	62 ± 4	55 ± 5
Mg	36 ± 5	43 ± 3	29 ± 1	73 ± 8	30 ± 2	28 ± 2	23 ± 1	45 ± 6	57 ± 13	25 ± 3	31 ± 2	27 ± 3
S	17 ± 1	23 ± 2	17 ± 1	26 ± 3	15 ± 1	13 ± 1	10 ± 1	26 ± 3	35 ± 8	7 ± 1	16 ± 1	18 ± 1
Zn	302 ± 20	299 ± 51	261 ± 21	412 ± 48	163 ± 8	167 ± 10	187 ± 14	266 ± 27	368 ± 113	143 ± 20	280 ± 21	355 ± 37
Mn	179 ± 27	256 ± 37	273 ± 40	428 ± 43	250 ± 10	174 ± 28	227 ± 6	181 ± 21	909 ± 188	94 ± 14	137 ± 12	262 ± 23
B	242 ± 29	287 ± 27	236 ± 15	450 ± 46	262 ± 16	194 ± 15	235 ± 10	375 ± 46	486 ± 110	244 ± 33	291 ± 12	267 ± 27
Fe	961 ± 95	652 ± 32	996 ± 86	2718 ± 492	1760 ± 248	1031 ± 170	411 ± 26	888 ± 130	1384 ± 418	366 ± 55	779 ± 58	935 ± 169
Cu	112 ± 7	71 ± 10	86 ± 5	218 ± 26	75 ± 2	78 ± 4	24 ± 4	75 ± 9	109 ± 46	42 ± 7	74 ± 4	62 ± 8

Tabela 17 -. Remoção pelo grão de nutrientes pela soja nos locais onde os experimentos foram conduzidos durante três anos agrícolas

Nutrientes	Remoção pelo grão											
	Castro-PR			Mamborê-PR			Montividiu-GO			Primavera do Leste-MT		
	2013/14	2014/15	2015/16	2013/14	2014/15	2015/16	2013/14	2014/15	2015/16	2013/14	2014/15	2015/16
Produtividade	3721 ± 390	3884 ± 556	4805 ± 461	4611 ± 483	4750 ± 338	3734 ± 277	4577 ± 171	4504 ± 245	3770 ± 205	3549 ± 205	3600 ± 143	4129 ± 26
N	238 ± 25	234 ± 36	294 ± 31	288 ± 29	285 ± 16	214 ± 17	259 ± 10	265 ± 13	247 ± 24	210 ± 29	211 ± 10	261 ± 8
P ₂ O ₅	42 ± 5	45 ± 7	50 ± 6	49 ± 5	54 ± 2	39 ± 3	45 ± 3	49 ± 3	41 ± 3	38 ± 4	40 ± 2	44 ± 1
K ₂ O	66 ± 8	73 ± 9	88 ± 9	76 ± 8	83 ± 4	65 ± 4	82 ± 6	86 ± 3	81 ± 5	58 ± 6	66 ± 3	88 ± 1
Ca	7 ± 1	7 ± 1	12 ± 1	14 ± 2	12 ± 1	11 ± 1	9 ± 1	11 ± 1	8 ± 1	6 ± 1	9 ± 1	7 ± 1
Mg	10 ± 1	10 ± 1	14 ± 1	14 ± 1	13 ± 1	10 ± 1	9 ± 1	11 ± 1	9 ± 1	9 ± 1	9 ± 1	10 ± 1
S	8 ± 1	13 ± 2	13 ± 1	10 ± 1	14 ± 1	9 ± 1	8 ± 1	11 ± 1	12 ± 1	6 ± 1	9 ± 1	13 ± 1
Zn	162 ± 23	172 ± 21	196 ± 5	160 ± 15	156 ± 5	115 ± 9	170 ± 8	171 ± 11	152 ± 25	117 ± 7	164 ± 7	220 ± 6
Mn	81 ± 16	95 ± 15	119 ± 5	113 ± 15	128 ± 9	79 ± 7	92 ± 5	97 ± 8	81 ± 4	56 ± 9	62 ± 3	82 ± 4
B	94 ± 12	107 ± 13	123 ± 8	99 ± 10	136 ± 10	76 ± 9	126 ± 10	128 ± 9	108 ± 5	101 ± 11	101 ± 4	145 ± 5
Fe	380 ± 121	286 ± 38	388 ± 25	459 ± 94	330 ± 20	319 ± 31	269 ± 27	433 ± 109	307 ± 47	201 ± 26	253 ± 20	278 ± 19
Cu	56 ± 7	42 ± 7	62 ± 4	69 ± 8	66 ± 2	42 ± 3	44 ± 2	40 ± 3	30 ± 2	31 ± 3	44 ± 6	50 ± 2

Tabela 18 - Índice de colheita de nutrientes pela soja nos locais onde os experimentos foram conduzidos durante três anos agrícolas

Nutrientes	Índice de colheita											
	Castro-PR			Mamboré-PR			Montividiu-GO			Primavera do Leste-MT		
	2013/14	2014/15	2015/16	2013/14	2014/15	2015/16	2013/14	2014/15	2015/16	2013/14	2014/15	2015/16
IC	34 ± 4	36 ± 7	50 ± 5	22 ± 2	53 ± 3	41 ± 5	63 ± 5	35 ± 5	20 ± 3	40 ± 2	35 ± 3	44 ± 3
N	57 ± 7	66 ± 16	81 ± 7	41 ± 5	98 ± 5	68 ± 9	96 ± 7	62 ± 8	41 ± 11	88 ± 9	70 ± 5	93 ± 22
P ₂ O ₅	56 ± 7	60 ± 12	80 ± 5	36 ± 6	98 ± 1	63 ± 7	92 ± 8	60 ± 9	42 ± 10	79 ± 10	66 ± 7	88 ± 16
K ₂ O	28 ± 4	34 ± 6	52 ± 4	22 ± 3	47 ± 2	37 ± 4	55 ± 5	35 ± 4	25 ± 6	39 ± 3	39 ± 4	45 ± 6
Ca	11 ± 2	9 ± 2	19 ± 2	10 ± 1	19 ± 1	19 ± 3	20 ± 3	13 ± 2	8 ± 3	16 ± 2	15 ± 1	14 ± 1
Mg	29 ± 4	23 ± 4	47 ± 6	19 ± 1	45 ± 2	38 ± 5	41 ± 4	24 ± 3	17 ± 6	35 ± 3	29 ± 3	39 ± 4
S	51 ± 7	56 ± 14	75 ± 6	37 ± 5	96 ± 5	69 ± 8	82 ± 8	45 ± 7	36 ± 10	86 ± 13	57 ± 5	75 ± 6
Zn	54 ± 10	61 ± 17	76 ± 8	39 ± 5	96 ± 5	69 ± 9	91 ± 7	65 ± 10	45 ± 14	83 ± 12	59 ± 7	63 ± 7
Mn	45 ± 11	38 ± 11	45 ± 7	27 ± 4	51 ± 4	47 ± 10	41 ± 3	55 ± 10	9 ± 2	60 ± 7	46 ± 6	32 ± 3
B	39 ± 6	38 ± 8	52 ± 6	22 ± 4	52 ± 2	40 ± 6	53 ± 4	35 ± 6	24 ± 7	42 ± 6	35 ± 2	55 ± 6
Fe	40 ± 11	44 ± 8	40 ± 6	18 ± 7	19 ± 2	32 ± 3	72 ± 4	52 ± 20	25 ± 9	55 ± 3	33 ± 5	31 ± 5
Cu	50 ± 6	61 ± 17	72 ± 3	32 ± 7	89 ± 1	54 ± 2	95 ± 11	55 ± 8	32 ± 9	74 ± 10	59 ± 9	82 ± 11

APÊNDICE 3

Distribuição relativa de nutrientes nas diferentes partes das plantas e na folha diagnose em Castro (Farm 1) e Mamborê (Farm 2), Montividiu (Farm 3) e Primavera do Leste (Farm 4) durante as safras 2013/14, 2014/15 e 2015/16.

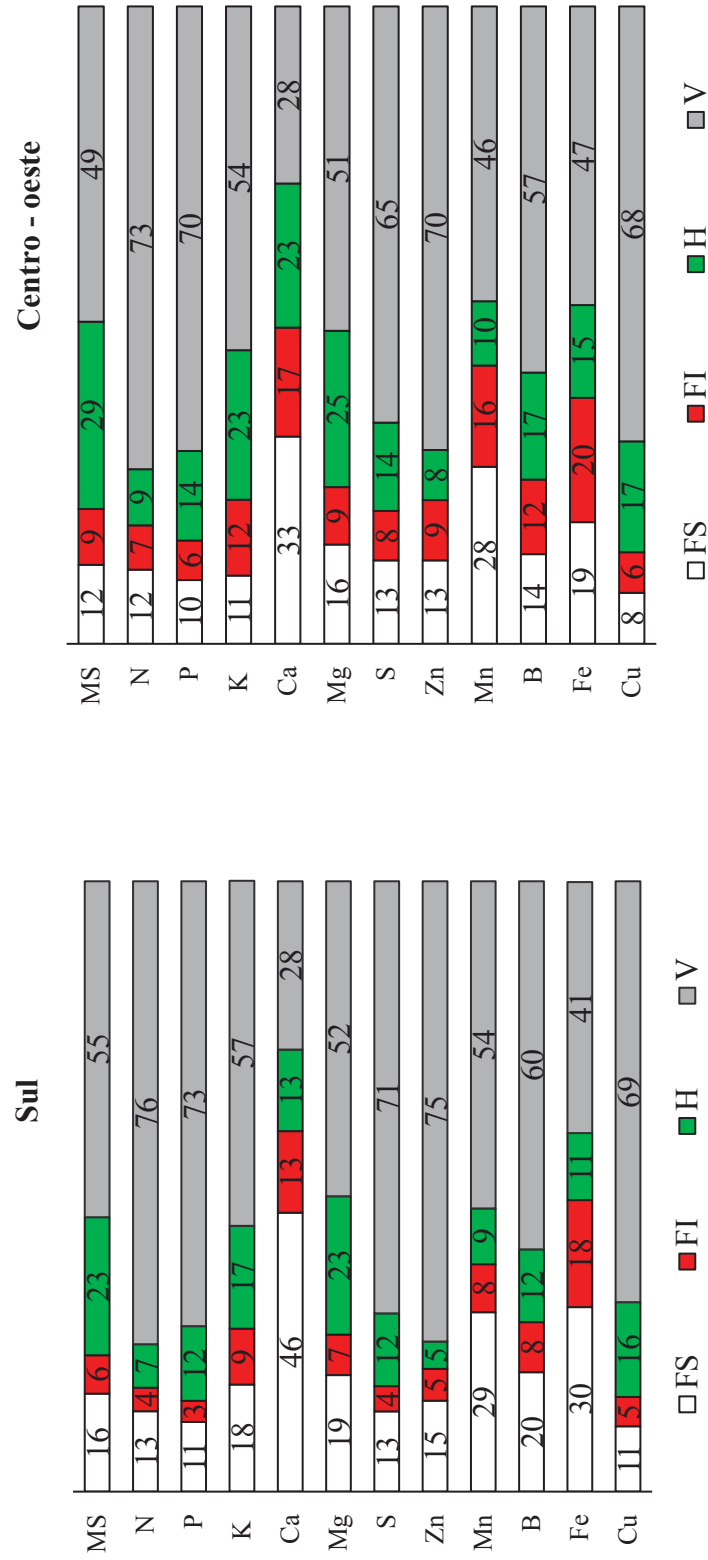


Figura 25 - Distribuição relativa de nutrientes nas diferentes partes das plantas (%), durante o estágio R6 (máximo acúmulo de matéria seca) nas regiões sul e centro oeste do Brasil. MS = Matéria Seca Total; FS = folha superior; FI = folha inferior; H = haste; e V = vagens.