

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE CASCAVEL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ESPACIALIZAÇÃO DOS TEORES DE PROTEÍNA E ÓLEO DE SOJA E MILHO E SUA
CORRELAÇÃO COM OS ATRIBUTOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE**

FRANCILÉIA DE OLIVEIRA E SILVA

CASCAVEL – PARANÁ - BRASIL
JULHO 2016

FRANCILÉIA DE OLIVEIRA E SILVA

**ESPACIALIZAÇÃO DOS TEORES DE PROTEÍNA E ÓLEO DE SOJA E MILHO E
SUA CORRELAÇÃO COM OS ATRIBUTOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Sistemas Biológicos e Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza

Co-Orientador: Prof. Dr. Claudio Leones Bazzi

**CASCADEL – PARANÁ - BRASIL
JULHO 2016**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

S58e

Silva, Franciléia de Oliveira e

Espacialização dos teores de proteína e óleo de soja e milho e sua correlação com os atributos do solo e produtividade. / Franciléia de Oliveira e Silva. Cascavel, 2016.

109 f.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Claudio Leones Bazzi

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, 2016

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Agrícola

1. Atributos do Solo. 2. Teor de proteína e teor de óleo. 3. Viabilidade espacial. I. Souza, Eduardo Godoy de. II. Bazzi, Claudio Leones. III. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. IV. Título.

CDD 20.ed. 631.4

633.34

CIP-NBR 12899

Ficha catalográfica elaborada por Helena Soterio Beijo – CRB 9ª/965

Revisões de português, inglês e normas realizadas por Ana Maria Vasconcelos em 15/10/2016.

FRANCILÉIA DE OLIVEIRA E SILVA

Espacialização dos teores de proteína e óleo (soja e milho) e sua correlação com os atributos do solo e produtividade

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas biológicos e agroindustriais, linha de pesquisa Geoprocessamento, estatística espacial e agricultura de precisão, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



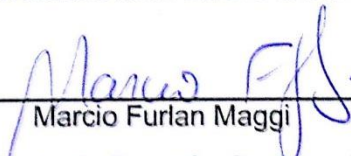
Orientador(a) - Eduardo Godoy de Souza

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Suzana Costa Wrublack

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (UTFPR)



Marcio Furlan Maggi

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Cascavel, 15 de julho de 2016

BIOGRAFIA

Franciléia de Oliveira e Silva, natural do município de Assis Chateaubriand – PR, nascida em 24 de Outubro de 1986. Graduada em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná em 2013. Mestranda em Engenharia Agrícola na área de concentração em Sistemas Biológicos e Agroindustriais e linha de pesquisa em Geoprocessamento, Estatística Espacial e Agricultura de Precisão pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

“Consagre ao senhor tudo o que você faz, e os seus planos serão bem sucedidos”

Provérbios 16:3

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a minha família:

Aos meus amados pais Jaime e Dalva.

Aos meus irmãos Francielly e Faguione.

Aos meus sobrinhos Emilly e Widmeyer.

Aos meus cunhados Marcia e Marciel.

*Ao meu esposo Carlos Alberto pela infinita amizade,
amor, confiança, apoio e incentivo em minha formação.*

Por tudo que representam em minha vida.

Amo muito vocês!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela vida, pela saúde, pela sua graça e companhia que me bastam. Por me capacitar e me dar forças e coragem para a realização desse sonho. Por sempre guiar meus passos e por estar sempre presente em minha vida.

Aos meus amados pais, Jaime Xavier da Silva e Maria Dalva de Oliveira e Silva. A vocês só tenho a agradecer, sem vocês eu não existiria. Obrigada por tudo que fizeram por mim, pelo amor, pelo exemplo de vida e pelos valores ensinados.

Aos meus irmãos Francielly de Oliveira e Silva e Faguione de Oliveira e Silva pela infinita amizade.

Aos meu sobrinhos Emily Priscila de Oliveira Vieira e Widmeyer Gustavo Chincal e Silva. Obrigada por fazerem dos meus dias cinzentos mais coloridos.

Ao meu esposo Carlos Alberto Mucelin pelo apoio, oração, paciência e cumplicidade e a toda família Mucelin pelo apoio e incentivo.

Ao meu orientador Eduardo Godoy de Souza pela oportunidade, acolhida, orientação, ensinamentos, confiança em mim depositada, pela contribuição intelectual e exemplo de profissional.

Ao meu co-orientador Claudio Leones Bazzi pela orientação e auxílio em todas as minhas dúvidas e dificuldades encontradas durante o desenvolvimento do trabalho, pela dedicação, ensinamentos e atenção na execução desse trabalho.

Ao proprietário Sr. Wanderlei Schenatto pela concessão das áreas experimentais.

A todos os professores do PGEAGRI, que participaram construindo o conhecimento, contribuindo assim com a minha formação.

À UNIOESTE, através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade na minha qualificação no Mestrado.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro por meio de bolsa de estudos.

A todos que direta ou indiretamente participaram deste trabalho e de minha formação, meus sinceros agradecimentos.

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS DO ARTIGO 1

Figura 1	Áreas experimentais, área A e área B.....	42
Figura 2	Variação mensal de temperatura mínima, temperatura máxima, precipitação e umidade relativa de São Miguel do Iguaçu, PR em 2012.....	43
Figura 3	Variação mensal de temperatura mínima, temperatura máxima, precipitação e umidade relativa de São Miguel do Iguaçu, PR em 2013.....	44
Figura 4	Variação mensal de temperatura mínima, temperatura máxima, precipitação e umidade relativa de São Miguel do Iguaçu, PR em 2014.....	44
Figura 5	Grades amostrais, área A e área B.....	45
Figura 6	Mapas temáticos dos macronutrientes.....	52
Figura 7	Mapas temáticos dos micronutrientes no solo 2012 e 2013.....	55
Figura 8	Mapas temáticos dos atributos químicos do solo 2012 e 2013.....	59
Figura 9	Mapas temáticos de textura 2012.....	61
Figura 10	Mapas temáticos produtividade, proteína e óleo.....	65
Figura 11	Correlação espacial área A 2012/13 A.....	67
Figura 12	Correlação espacial área A 2013/14.....	69
Figura 13	Correlação espacial área B 2012/13.....	72
Figura 14	Correlação espacial proteína área B 2013/14.....	74

FIGURAS DO ARTIGO 2

Figura 1	Áreas experimentais, área A e área B.....	84
Figura 2	Grades amostrais, área A e área B.....	85
Figura 3	Mapas temáticos dos macronutrientes.....	93
Figura 4	Mapas temáticos dos micronutrientes no solo anos 2012 e 2013.....	96
Figura 5	Mapas temáticos dos atributos químicos do solo 2012 e 2013.....	100
Figura 6	Mapas temáticos de textura 2012.....	102
Figura 7	Mapas temáticos produtividade, proteína e óleo.....	105
Figura 8	Correlação espacial área A.....	108
Figura 9	Correlação espacial área B.....	109

LISTA DE TABELAS

TABELAS DO ARTIGO 1

Tabela 1	Estatística exploratória dos macronutrientes do solo das áreas A e B para os anos de 2012 e 2013.....	49
Tabela 2	Níveis de interpretação dos macronutrientes do solo das áreas A e B para os anos de 2012 e 2013.....	50
Tabela 3	Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para os macronutrientes do solo nas áreas experimentais para os anos de 2012 e 2013.....	51
Tabela 4	Estatística exploratória dos micronutrientes das áreas A e B para os anos de 2012 e 2013.....	53
Tabela 5	Níveis de interpretação dos micronutrientes do solo.....	54
Tabela 6	Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para os micronutrientes do solo nas áreas experimentais para os anos de 2012 e 2013.....	55
Tabela 7	Estatística exploratória dos atributos químicos do solo das áreas A e B para os anos de 2012 e 2013.....	57
Tabela 8	Níveis de interpretação dos atributos químicos do solo.....	58
Tabela 9	Estatística exploratória e dependência espacial dos micronutrientes do solo nas áreas experimentais para os anos de 2012 e 2013.....	60
Tabela 10	Estatística exploratória da textura do solo nas áreas experimentais para o ano de 2012.....	61
Tabela 11	Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para textura do solo nas áreas experimentais para os anos de 2012 e 2013.....	62
Tabela 12	Estatística exploratória produtividade, proteína e óleo A e B para os anos de 2012 e 2013.....	64
Tabela 13	Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para os micronutrientes do solo nas áreas experimentais para os anos de 2012 e 2013.....	64
Tabela 14	Principais correlações do teor de proteína e do teor de óleo.....	76

TABELAS DO ARTIGO 2

Tabela 1	Estatística exploratória dos macronutrientes do solo das áreas A e B para os anos de 2012 e 2013.....	88
Tabela 2	Níveis de interpretação dos macronutrientes do solo das áreas A e B para os anos de 2012 e 2013.....	89
Tabela 3	Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para os macronutrientes do solo nas áreas experimentais para os anos de 2012 e 2013.....	92
Tabela 4	Estatística exploratória dos micronutrientes das áreas A e B para os anos de 2012 e 2013.....	94

Tabela 5	Níveis de interpretação dos micronutrientes do solo.....	95
Tabela 6	Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para os micronutrientes do solo nas áreas experimentais para os anos de 2012 e 2013.....	96
Tabela 7	Estatística exploratória dos atributos químicos do solo das áreas A e B para os anos de 2012 e 2013.....	98
Tabela 8	Níveis de interpretação dos atributos químicos do solo.....	99
Tabela 9	Estatística exploratória e dependência espacial dos micronutrientes do solo nas áreas experimentais para os anos de 2012 e 2013.....	101
Tabela 10	Estatística exploratória da textura do solo nas áreas experimentais para o ano de 2012.....	102
Tabela 11	Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para textura do solo nas áreas experimentais para os anos de 2012 e 2013.....	103
Tabela 12	Estatística exploratória produtividade, proteína e óleo A e B para os anos de 2012 e 2013.....	104
Tabela 13	Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para os micronutrientes do solo nas áreas experimentais para os anos de 2012 e 2013.....	105

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Alt	Altitude
Al	Alumínio
Ca	Cálcio
C	Carbono
Cu	Cobre
Fe	Ferro
H+Al	Hidrogênio + Alumínio
P	Fósforo
K	Potássio
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
MO	Matéria orgânica
N	Nitrogênio
pH	Potencial de hidrogeneização
Sat. Al	Saturação por alumínio
SB	Soma de bases
SMP	Índice SMP
Zn	Zinco

ESPACIALIZAÇÃO DOS TEORES DE PROTEÍNA E ÓLEO DE SOJA E MILHO E SUA CORRELAÇÃO COM OS ATRIBUTOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE

RESUMO

A importância da atividade agrícola do Brasil faz com que pesquisas sejam desenvolvidas com focos distintos como a influência dos atributos do solo nas culturas e análise espacial do solo, a fim de se realizar um manejo mais adequado, com menor impacto ambiental e aumentar a produtividade das culturas, dentre elas a soja e o milho. Além da produtividade, verifica-se a importância de estudos que envolvam parâmetros como a qualidade, tendo em vista a possibilidade de utilização da matéria prima para a indústria. Assim, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise espacial dos parâmetros de qualidade (proteína e teor de óleo) de soja e milho. Calculou-se o índice de dependência espacial e elaboraram-se mapas temáticos. Buscou-se ainda realizar a análise de correlação espacial entre estes parâmetros e atributos físicos (resistência do solo à penetração) e químicos do solo (P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn MO, Al, pH, H+Al, SB, SMP e Sat. Al), textura (areia, silte e argila), altitude e com a produtividade. O experimento foi conduzido em duas áreas cultivadas (A e B) com soja (safrinha) e milho (safrinha) sob sistema de plantio direto. Dentre os atributos estudados, o teor de K correlacionou de forma significativa (positiva) com a proteína de soja, nas duas áreas experimentais (A e B) e nos dois anos agrícolas estudados (2012/2013 e 2013/2014.). A argila e a resistência mecânica à penetração na profundidade (20-30 cm) apresentaram correlação negativa com a proteína de soja na área B nos dois anos agrícolas. A proteína de soja e o óleo de soja correlacionaram-se inversamente nas duas áreas experimentais: área A (2013/14) e na área B nos dois anos (2012/13 e 2013/14). Já o teor de proteína de milho não demonstrou dependência espacial. Já o teor de óleo apresentou dependência espacial moderada e apresentou correlação inversa com a produtividade nas duas áreas em estudo.

Palavras-chave: atributos do solo, teores de proteína e óleo, variabilidade espacial

SPATIAL ANALYSIS OF QUALITY PARAMETERS OF SOYBEANS AND CORN ITS CORRELATION WITH CHEMIC AND PHYSIC ATTRIBUTES OF SOIL AND YIELD

ABSTRACT

The importance of Brazil's agricultural activity boosts for researches that can be developed with different focuses such as the influence of soil properties on crops and spatial analysis of soil, in order to achieve a better management, with less environmental impact and increase crop yield as soybeans and maize. Besides yield, studies involving parameters such as quality are essential, since raw materials are seen as a possibility to be used in industry. Thus, this trial aimed at carrying out spatial analysis of quality parameters for soybean and maize (protein and oil content). The index of spatial dependence was calculated, while thematic maps were drawn. Further, analysis of spatial correlation among these parameters and attributes of soil was carried out as well as physical (soil penetration resistance) and chemical of soil (P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn MO, Al, pH, H+Al, SB, SMP e Sat. Al, texture (sand, silt and clay), altitude and yield were also recorded. This trial was carried out in two areas (A and B) cropped with soybeans (summer crop) and maize (winter maize) under no-tillage system. Among the studied attributes, K content was significantly correlated (positively) with soybean protein in both experimental areas (A and B) as well as in both studied agricultural years (2012/2013 and 2013/2014.). Clay and mechanical resistance to penetration at 20-30 cm depth showed negative correlation with soybean protein in area B in both agricultural years. Soybean protein and its oil were inversely correlated in both experimental areas: area A (2013/14) and area B in both years (2012/13 and 2013/14). The corn protein showed no spatial dependence. But the oil content presented moderate spatial dependence and showed an inverse correlation with productivity in both areas under study.

Keywords: soil attributes, contents of both protein and oil, spatial variability.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTAS DE TABELAS	ix
LISTAS DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	xi
RESUMO.....	xii
ABSTRACT	xiii
1 INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 Soja	18
3.2 Milho	19
3.3 Atributos do Solo.....	20
3.3.1 Atributos Físicos do Solo	20
3.3.2 Atributos Químicos do Solo.....	21
3.4 Variabilidade Espacial dos Atributos do solo.....	22
3.5 Variabilidade Espacial dos Atributos da Planta	23
3.6 Agricultura de Precisão	25
3.7 Geoestatística.....	26
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28
5. ARTIGOS	38
5.1 ARTIGO 1 - SOJA.....	38
5.2 ARTIGO 2 - MILHO.....	81
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	114

1 INTRODUÇÃO

O Brasil desfruta do privilégio de ser o segundo maior produtor mundial de soja e o terceiro maior na produção de milho, com potencial para o aumento produtivo das cultivares. Para a safra de 2015/2016, a área plantada de soja foi estimada em mais de 30 milhões de hectares, superando a safra de 2014/2015 em 3,6%. Além do aumento da área cultivada, espera-se incremento de 4,9% na produtividade, totalizando 100 milhões de toneladas (CONAB, 2016). O milho foi cultivado em mais de 15,5 milhões de hectares na safra 2014/2015, com produtividade média de 5,18 Mg ha⁻¹ (CONAB, 2015), sendo que, nos últimos anos, têm-se observado relevantes incrementos na produtividade de grãos dessa cultura (HORBE et al., 2013).

O aumento no rendimento de tais culturas se deve aos avanços científicos tais como, programas de melhoramento genético conduzidos no país, que priorizam o desenvolvimento de variedades mais produtivas. Porém, essas pesquisas não avaliam a qualidade dos produtos, apesar da qualidade ser um importante parâmetro para a comercialização e processamento, afetando o valor do produto no mercado (ZANON, 2007; EMBRAPA, 2015).

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] destaca-se entre as oleaginosas, devido a seus altos teores de proteína (40%) e óleo (20%). Estes teores são considerados indicadores importantes de qualidade (anunciados na embalagem) e agregam valor ao produto (Dhakal et al., 2013; Brumm e Hurburgh, 1990). Por outro lado, o milho está entre o grupo de cereais mais cultivados no mundo, sendo componente rico em nutrientes e apresentam, em geral, cerca de 3,5% a 5% de óleo (ALEXANDER, 1986).

No entanto, o recebimento de lotes de com teores de proteína cada vez menores tem sido uma reclamação frequente dos fabricantes de ração animal, que usam o farelo da soja como matéria-prima, o que dificulta a produção de farelo e aumenta o custo de produção da ração (EMBRAPA, 2015). Arias e Pípolo (2015) associam a alteração nos teores de proteína ao fato de que as empresas de melhoramento genético, nos últimos 40 anos, terem priorizado a produtividade, característica que tem uma relação inversa com o teor de proteínas, quando o grande desafio é aumentar o rendimento sem reduzir o teor de proteína e de óleo (HORAN, 1994). Além disso, a quantidade teores de proteína e óleo de grãos de soja podem variar por diversos fatores ao longo de seu ciclo, em função do genótipo, do ambiente onde é cultivado e pela prática agrônômica, entre os quais, a adubação é muito importante, já que a composição química dos grãos pode ser afetada por deficiências nutricionais (WILCOX e CAVINES, 1992; RAO et al, 1993). Rangel et al. (2004) e Pípolo (2002) concordam que, em princípio, os teores de óleo e proteína das sementes de soja são influenciados geneticamente,

porém fortemente influenciados pelo ambiente, principalmente durante o período de maturação das sementes.

O entendimento da variabilidade espacial dos atributos do solo e das culturas é de grande importância, já que os atributos físicos e químicos do solo influenciam no desenvolvimento, produtividade e na qualidade das culturas. Tanto que para avaliar restrições de falta ou toxidez de certos elementos, assim como as condições de solo e relevo, utiliza-se a correlação entre estes atributos e o rendimento da cultura (DELGADO, 2005; SOUZA, 2008; SANCHEZ, 2005).

Brusco et al. (2005) e Schieffer e Dillon (2015) consideram que é possível a melhoria das características da cultura com a utilização de tecnologias e metodologias específicas, tais como o uso de agricultura de precisão, implicando redução de custos e aumento de produtividade e qualidade (DE CAIRES et al., 2014).

Dada a grande importância da soja e do milho, extensa área plantada, alto teor de proteínas e óleo e múltiplas utilizações, bem como na alimentação humana e nas indústrias, faz-se necessário a realização de pesquisas dirigidas à obtenção de informações, que contribuam com aumento da produtividade, qualidade e redução dos custos de produção das culturas (EMBRAPA, 2013).

2. OBJETIVOS

Estudar a variabilidade espacial dos parâmetros de qualidade da soja e milho (proteína e teor de óleo) e suas correlações em relação aos atributos físicos (resistência do solo à penetração) e químicos do solo fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), matéria orgânica (MO), alumínio (Al), potencial de hidrogeneização (pH), hidrogênio mais alumínio (H+A), Soma de Bases (SB), SMP e saturação por alumínio (Sat. Al), textura (areia, silte e argila), altitude (Alt) e com a produtividade (Prod).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Soja

A soja destaca-se entre as oleaginosas cultivadas no mundo, devido a seus altos teores de proteína (40%) e óleo (20%) (BOERMA e SPECHT, 2004). Além dos altos teores de proteína e óleo encontrado em sua composição nutricional, a soja também contém ácidos graxos (ácido palmítico, ácido oleico, ácido linoleico e ácido linolênico), açúcares (monossacarídeos: glucose e frutose), dissacarídeos (sacarose), oligossacarídeos (rafinose e estaquiose) e minerais (P, K, Ca, Mn, Zn, Fe) e vitaminas do complexo B (BELLALLOUI et al., 2015).

Sua proteína é a única do reino vegetal capaz de substituir a proteína animal, por conter todos os aminoácidos essenciais, e em proporção adequada (FDA, 1999). Essas propriedades são essenciais à alimentação humana e tal deficiência pode causar má nutrição e conseqüentemente, problemas de saúde (BELLALLOUI, et al., 2015).

O óleo destinado à alimentação humana e animal, tem sido recentemente utilizado na geração de energia, com a produção de biodiesel. Este biocombustível, é uma fonte renovável de energia que permite reduções nas emissões de compostos poluentes como os óxidos de enxofre e gases que contribuem para o efeito estufa (COSTA NETO et al., 2000; WILSON, 2004).

A qualidade nutricional desta oleaginosa, aliada às suas múltiplas utilidades, bem como, na alimentação humana e animal e ainda nas indústrias, gera uma demanda mundial elevada e crescente. O Brasil como o segundo maior produtor mundial de soja, atrás dos Estados Unidos, colabora com este cenário, como uma produção de crescimento constante. Segundo a CONAB (2016) para a safra de 2015/2016, a área plantada de soja foi estimada em 33.200 mil hectares, superando a safra de 2014/2015 em 3,6%. Além do aumento da área cultivada, também se espera incremento de 4,9% na produtividade, totalizando 100 milhões de toneladas.

A busca pela qualidade da soja tem aumentado. Em um mercado mais diversificado e exigente, consumidores procuram por tipos especiais de soja, que contenham as características físicas, químicas e biológicas adequadas a determinados produtos ou usos. A melhoria da qualidade, além de assegurar a viabilidade econômica da cultura no país, ainda contribui para o bem estar da sociedade, sem aumentar o custo de produção e sem impactar

negativamente o ambiente (ZANON, 2007).

A qualidade de seus grãos é um importante parâmetro para a sua comercialização já que são os teores de proteína e lipídeos que determinam seu valor comercial. O aumento desses teores, além de agregar valor ao grão, também garante competitividade da soja no mercado mundial (RODRIGUES et al., 2010).

3.2 Milho

O milho (*Zea mays L.*) está entre os cereais mais cultivados e consumidos no mundo e seu valor econômico está associado as diversas formas de uso, que está intrinsecamente ligado à alimentação humana e animal, até a indústria de alta tecnologia (GANEM, 2013). No entanto é como matéria prima de rações que é mais utilizado devido ao seu valor energético, de 70% de amido, 5% lipídeos e 10% proteína. O milho contribui para alimentação animal como fornecedor de energia principalmente na cadeia produtiva de aves e suínos, que consome cerca de 70% a 80% do milho produzido no Brasil (ROSTAGNO et al., 2011; MIRANDA et al., 2012).

No ranking mundial o Brasil ocupa a terceira posição dos maiores produtores de milho, atrás dos Estados Unidos e China Juntos estes países respondem por 66,5% da produção mundial (CONAB, 2015). No Brasil o milho é a segunda cultura de grãos mais produzida, com produção de 80 milhões de toneladas em 2014/2015. O Paraná é o segundo maior produtor de milho do país, com uma área cultivada de 2,43 milhões de hectares, produção de 14,72 milhões de toneladas, e uma produtividade média de 6.050 kg ha⁻¹ (CONAB, 2015).

A produção nacional de milho é voltada ao mercado interno na alimentação animal, porém o excedente da produção é destinado à exportação, conferindo ao Brasil a segunda posição entre os principais países exportadores (CONAB, 2016). A importância socioeconômica da cadeia produtiva do milho ocorre em todas as regiões do Brasil. Essa cadeia produtiva movimenta um mercado de aproximadamente 40 bilhões de dólares anuais, distribuídos entre indústrias de produção de alimentos para consumo humano, rações e matéria prima para produtos industrializados (FERRARI FILHO, 2011).

3.3 Atributos do Solo

O conhecimento dos atributos do solo é de grande importância, pois sua qualidade propicia condições adequadas para o crescimento e desenvolvimento das plantas (WEDDING et al., 2012).

3.3.1 Atributos Físicos do Solo

Os atributos físicos do solo dizem respeito à capacidade de absorver e reter água, de circular o ar e à condição que ele oferece às plantas para a penetração das raízes (LIMA, 2013). Esses atributos são essenciais para determinar a degradação do solo, pois a partir deles, obtém-se informações para a estimativa da susceptibilidade do solo à erosão e para estabelecer sistemas de manejo do solo e da água (REYNOLDS et al., 2008).

Os principais atributos do solo são naturalmente heterogêneos e suas propriedades variam continuamente no espaço e no tempo. Essa variação está entre pontos relativamente próximos em área de mesma unidade taxonômica, muitas vezes de forma significativa (SOUZA, 2007).

Porém, o uso e o manejo do solo podem afetar suas propriedades físicas e interferir na produtividade das culturas. Os diferentes implementos disponíveis para o preparo do solo provocam alterações em suas propriedades (SÁ, 1998). Segundo DORAN e PARKIN (1994) um sistema de manejo agrícola só é considerado sustentável quando a qualidade dos recursos do solo é mantida ou melhorada. Para que seja possível assegurar a sustentabilidade do sistema produtivo, o manejo do solo deve manter as propriedades físicas do solo o mais próximo das condições originais (LLANILLO et al., 2006).

A qualidade física e o desenvolvimento das plantas estão relacionados com a compactação do solo, pois ela o afeta adversamente, aumenta a resistência à penetração e diminui sua permeabilidade ao ar e à água (VEIGA et al., 2008; SILVA et al., 2009). Esses efeitos podem levar à concentração das raízes na camada superficial do solo, causando reflexos negativos sobre o volume explorado e a absorção de água e nutrientes pelas plantas, o que, conseqüente retarda germinação, comprometendo a produtividade das culturas (SECCO et al., 2009).

Segundo Reichert et al. (2009) a compactação do solo intensificou-se com a modernização da agricultura, principalmente pelo uso de máquinas e implementos agrícolas

cada vez maiores e mais pesadas. De acordo com OLIVEIRA FILHO (2014) um solo torna-se compactado quando já não é mais capaz de suportar as tensões que lhe são impostas ou quando as cargas aplicadas levam a tensões excessivas.

3.3.2 Atributos Químicos do Solo

A avaliação das características químicas do solo é necessária para determinação da qualidade orgânica e da disponibilidade de nutrientes. Conhecer a fertilidade do solo e as necessidades nutricionais das plantas, permite a identificação e a definição das quantidades dos nutrientes essenciais visando um manejo adequado de modo que possa aumentar a rentabilidade do produtor, assim como a sustentabilidade ambiental (SILVA et al., 2011).

Os nutrientes minerais são classificados em macro e micronutrientes, de acordo com a concentração encontrada em seus tecidos. Os encontrados em maior concentrações são designados de macronutrientes, sendo eles o carbono, o oxigênio (obtidos através do ar e da água) juntamente com nitrogênio (N), o fósforo (P), o potássio (K), o cálcio (Ca), o magnésio (Mg) e o enxofre (S), os quais as plantas necessitam em maior quantidade. Os micronutrientes, encontrados em pequenas concentrações, tais como ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e o cobre (Cu), também são essenciais no metabolismo da planta, onde a falta desses, inviabiliza a produção das culturas (MALAVOLTA, 2006; WARAICH et al., 2011).

Com a análise dos atributos químicos é possível mensurar a quantidade de nutrientes que o solo será capaz de fornecer às plantas e quais as características do insumo que deve ser aplicadas para que a cultura possa ter bom rendimento, além de fornecer informações sobre a acidez superficial do solo (WOLLENHAUPT et al., 1994).

As características químicas, físicas, mineralógicas e biológicas do solo são influenciadas nos processos genéticos de formação do solo por fatores relacionados ao clima, relevo, ação de organismos, tempo e variação do material de origem (ARRUDA et al., 2010; COMIN et al., 2013). Sendo assim, o estudo da dinâmica das propriedades dos solos é importante, pois pode indicar alternativas de manejo além de possibilitar estimativas de respostas dos atributos do solo em função de determinadas práticas realizadas (SANTOS, et al., 2009).

3.4 Variabilidade Espacial dos Atributos do solo

Entre os principais recursos que a natureza oferece, destacam-se o solo e a água. Um solo só é considerado fisicamente ideal para a manutenção da qualidade ambiental dos ecossistemas, quando ele apresenta poros adequados para a entrada de ar e água no solo, porosidade adequada para que a água se movimente através do solo e para o crescimento das culturas após a germinação, permitindo assim que as plantas apresentem boa retenção de água, bom arejamento, bom suprimento de calor e pouca resistência ao crescimento radicular (LIMA, 2013).

Os atributos físicos e químicos influenciam tanto no desenvolvimento como na produtividade das culturas. Algumas das mais importantes propriedades que determinam a produção das culturas inclui a disponibilidade de água, drenagem, profundidade do solo, disponibilidade de nutrientes, textura, teor de matéria orgânica e pH, tanto que normalmente para avaliar estas restrições de falta ou toxidez de certos elementos, assim com as condições de solo e relevo, utiliza-se a correlação entre estes atributos e o rendimento da cultura (DELGADO, 2005; SOUZA, 2008; SANCHEZ, 2005).

No entanto o manejo pode afetar as características do solo. Entre os componentes do manejo, destaca-se o preparo do solo, pois essa atividade atua diretamente na sua estrutura, causando modificações, principalmente nas camadas superficiais. Práticas como aração e gradagem são responsáveis pela alteração e até eliminação da dependência espacial de certas propriedades físicas do solo como densidade aparente, porosidade e retenção de água (VIEIRA e KLEIN, 2007).

A variabilidade espacial dos atributos do solo é consequência de complexas interações dos fatores e processos pedogenéticos. Além disso o tipo de manejo do solo e da cultura, pode causar variabilidade adicionais (CORÁ, 1997). Para Cambardella et al. (1994) o conhecimento detalhado da variabilidade espacial e o conhecimento da causa dessa variabilidade, são fatores importantes para o refinamento das práticas agrícola que visam à sustentabilidade por meio de um manejo regionalizado de insumos e práticas agrícolas, com avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental (ZONTA, 2014).

O levantamento da variabilidade espacial de atributos do solo pode ser realizada por meio de amostragem, análise de solo e pelas perdas e diferenças encontradas nas produções das culturas (SILVA et al., 2010). Sabendo-se que o conhecimento detalhado da variabilidade espacial dos atributos da fertilidade, pode otimizar a aplicação localizada de corretivos e fertilizantes bem como melhorar o controle do sistema de produção das culturas e de

contaminações ambientais, agricultores tem adotado o manejo regionalizado do solo e da cultura que faz parte da agricultura de precisão.

Os atributos físicos do solo desempenham importantes funções, senão as principais dentre os atributos do solo (WARRICK e NIELSEN, 1980). Desta forma, buscando a definição de melhores estratégias para o manejo sustentável do solo é necessário o conhecimento da variabilidade desses atributos (SCHAFFRATH et al., 2008). Diversos estudos sobre a variabilidade espacial dos atributos físicos tem demonstrado uma ampla diversidade de resultados, com variação entre locais estudados, com ou sem continuidade espacial, provavelmente associada ao sistema de manejo e às características intrínsecas dos solos (GREGO e VIEIRA, 2005).

A produtividade das culturas apresenta variabilidade espacial e diversos fatores, como atributos do solo, taxa de germinação, plantas daninhas, pragas, doenças entre outros, podem contribuir para esta variabilidade (ACOCK e PACHEPSKY, 1997). A variabilidade dos atributos do solo influencia na eficiência do manejo e no desenvolvimento das culturas. Segundo REICHERT et al. (2008), a definição espacial dos atributos do solo e da planta contribuem para o planejamento das lavouras comerciais e a locação de experimentos científicos.

3.5 Variabilidade Espacial dos Atributos da Planta

A composição química da semente pode ser influenciada por fatores genéticos e ambientais ou ainda pelos nutrientes aplicados no solo (SEDIYAMA et al., 1981). Segundo Horan (1974) a maioria das cultivares de soja apresenta de 30 a 45% de proteínas, 15 a 25% de óleo, sendo que esses teores podem variar pelas condições climáticas, localização geográfica, cultivares, tipo de solo e práticas agrônômica entre outros fatores.

Albrecht et al. (2008) verificaram, no Oeste do Paraná, que a antecipação da semeadura de 15 novembro para 15 de setembro pode provocar redução na concentração de proteína nos grãos. A antecipação da época de semeadura imprime mudanças nas condições climáticas durante os períodos de desenvolvimento da cultura, inclusive durante o período de enchimento de grãos. Minuzzi et al. (2009) também observaram variação de 31% a 35% no teor de proteína entre quatro cultivares plantadas em dois locais de Mato Grosso do Sul, em dois anos agrícolas.

Finoto (2008) avaliando a variabilidade fenotípica, a estabilidade e adaptabilidade da produtividade, dos teores de óleo e proteína nos grão de 17 genótipos de soja, cultivados em

cinco épocas de plantio na Região Centro do Estado de São Paulo, verificou que o genótipo M-Soy 8001 atingiu altas médias de teores de óleo em todos os ambientes. Os genótipos PTN-Bio e CD 223 AP apresentaram altas médias de teores de proteína e se destacaram em três ambientes em detrimento da baixa produtividade e do baixo teor de óleo. Neste estudo, o autor também verificou que as variações dos teores de óleo foram menores que as de proteínas e de produtividade, tanto entre os genótipos quanto nas épocas de plantio.

Na cultura da soja o N é o nutriente exigido em maiores quantidades, seguido do K e P. Segundo Pípolo (2002) as concentrações de óleo e proteína são positivamente relacionadas, quando os suprimentos de N e C são mais constantes. Quando o N torna-se mais abundante, a preferência é sintetizar a proteína ao invés do óleo. Portanto, a disponibilidade de N pode ser o fator regulador da concentração de proteína na semente. O autor ainda relata que a variação do teor de proteína é melhor justificada pela precipitação, ligada ao estresse hídrico, do que pela temperatura.

De acordo com Mascarenhas et al. (1988), Pettigrew (2008) e Veiga et al. (2010), o K é essencial na síntese e no transporte de óleo nos grãos. Usherwood (1994) também afirma que o K tem função no transporte de fotoassimilados para os grãos, permitindo a síntese de óleo. Em sementes, o K exerce efeito positivo sobre o teor de óleo (TANAKA et al. 1997). Tanaka; Mascarenhas e Miranda (1991) relatam a ocorrência de variações nos teores de óleo e de proteína em semente de soja resultante do manejo da adubação ou da correção da acidez do solo.

O milho está intrinsecamente ligado à alimentação animal, por ser um componente rico em nutrientes cerca de 70% de amido, 5% lipídeos e 10% proteína (GANEM, 2013). No entanto o teor de óleo nos grãos de milho é relativamente baixo nas cultivares tradicionais. Nos Estados Unidos, obtiveram-se teores de óleo entre 32 e 53 g kg⁻¹ (Earle et al., 1946; Genter et al., 1956; Jellum et al., 1973; Lang et al., 1956; Welch, 1969; Earle, 1977; Zhang et al., 1993; Yuan e Flores, 1996) e, no Brasil, entre 32 e 43 g kg⁻¹ (Gallo et al., 1976; Duarte et al., 2005). Jellum e Marion (1966) e Cloninger et al. (1975) observaram, respectivamente, variabilidade de óleo para alguns genótipos de 41 a 56 g kg⁻¹ e 36 a 42 g kg⁻¹.

O milho é uma das culturas mais exigentes em fertilizantes para expressar seu potencial produtivo, especialmente os nitrogenados, os potássicos e os fosfatados (OLIVEIRA et al., 2012). A adubação nitrogenada influencia não só na produtividade, mas também na qualidade do produto em consequência da alteração no teor de proteína nos grãos de milho (ZHANG et al., 1994).

Scrob et al. (2014), estudando a qualidade de híbridos de milho, verificou variação no teor de óleo e de proteína em diferentes genótipos. Segundo Lima (2011) existe uma grande variabilidade nos nutrientes do milho. As causas dessa variação são diversas, incluindo a genética, local de plantio, variações climáticas, condições de plantio e colheita e tratamento

pós-colheita como secagem e armazenamento. De acordo com o autor, no Brasil, a grande variação climática faz com que exista grande quantidade de híbridos de milho cultivados, o que ocasiona variação nos valores nutricionais, principalmente nos teores de óleo, que influencia diretamente os valores energéticos.

Alguns estudos apontam a existência de correlações negativas entre teor de óleo e rendimento de grãos de milho (Misevic e Alexander, 1989; Tatis, 1990).

3.6 Agricultura de Precisão

A agricultura de precisão é definida como um conjunto de técnicas e procedimentos utilizados no gerenciamento localizado da produção agrícola (BALASTREIRE, 1998). É uma forma de gestão cuidadosa e detalhada que visa um manejo específico na aplicação de insumos com base na variabilidade espacial da cultura e do solo, associado ao conhecimento agrônomo e ao histórico da área (BALASTREIRE, 1994, 1998). As práticas de manejo agrícola localizado têm sido identificadas como detentoras da promessa de agredir menos o ambiente e elevar os retornos líquidos. Com o manejo específico, a quantidade de insumos aplicado pode ser otimizada, o que reduz o custo da produção, gerando benefícios econômicos e ambientais (MONTANARI, 2012).

A agricultura de precisão é utilizada desde o início da agricultura, quando os pequenos agricultores já tratavam suas áreas de acordo com as necessidades específicas de cada local. Mas quando as áreas de cultivo aumentaram, tornou-se impossível esse tipo de manejo, passando-se então a manejar toda área de forma homogênea, não levando mais em consideração a variabilidade espacial, mas sim a necessidade média de aplicação dos insumos (HEDLEY, 2014).

Para Souza et al. (2010), esse tipo de manejo resulta numa aplicação localizada e no momento adequado da quantidade necessária de insumo à produção agrícola. Quando a aplicação de insumos é baseada em teores médios da fertilidade do solo, a quantidade aplicada pode ser sub ou superestimada, o que pode resultar em áreas com excesso de insumos e outras com falta dele. A aplicação de uma taxa uniforme, faz com que se tenham problemas econômicos e ambientais associados à inapropriada aplicação de insumos no solo (CAAP, 1997).

Já o conhecimento detalhado da variabilidade espacial dos atributos da fertilidade pode otimizar a aplicação localizada de corretivos e fertilizantes, bem como melhorar o controle do sistema de produção das culturas e de contaminações ambientais. Portanto a

agricultura de precisão tem como proposta o desenvolvimento de sistemas que permitam racionalizar o uso de insumos e, conseqüentemente, os custos de produção e o impacto ambiental, aliados ao incremento da produção (MOLIN e RABELLO, 2011). Mas para que isso seja possível é preciso investimentos em automação, já que a agricultura de precisão está alicerçada em um conjunto de tecnologias modernas como: o GPS, a informática, o sensoriamento remoto, utilizando-se de imagens de satélites ou fotografias aéreas, sistemas de informações geográficas (SIGs), controladores utilizados nas máquinas agrícolas, monitor de colheita e mapeamento da fertilidade e da produção, entre outras (JENSEN et al., 2012).

3.7 Geoestatística

A geoestatística é uma técnica usada frequentemente na agricultura de precisão adotada para estudar a variabilidade espacial dos atributos do solo. Aplicada à Agricultura de Precisão tem por objetivos identificar, na aparente desordem entre as amostras, uma medida da correlação espacial, realizar estimativas de valores de locais não amostrados com base em alguns valores conhecidos e identificar inter-relações de propriedade no espaço, além de permitir estudar padrões de amostras adequadas (Vieira, 2000).

A teoria fundamental da geoestatística é a esperança de que, na média, as amostras próximas no tempo e espaço sejam mais similares entre si do que as que estiverem distantes (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989). Construída a partir de conceitos estatísticos, pode ser aplicada em problemas com dados provenientes de fenômenos naturais e que são espacialmente distribuídos e auto correlacionados (LANDIM, 1998; KESTRING, 2011).

Esta técnica tem como princípio a teoria das variáveis regionalizadas, desenvolvida por Matheron (1971,1963) definida como uma função espacial numérica que varia no espaço e no tempo, que tem como propósito representar um fenômeno natural. Matheron afirmava com essa teoria, que algumas variáveis estão intrinsecamente relacionadas com a sua localização geográfica.

Como a geoestatística é uma estatística que considera não apenas o valor obtido para uma variável resposta, mas também leva em consideração a posição dos pontos amostrais e a dependência espacial entre as amostras, expressa por meio de um sistema de coordenadas, é possível estimar valores em locais não amostrados e estimar uma medida de erro associada a cada ponto estimado (VIEIRA, 2000). Para isso utiliza a função semivariância que determina a medida do grau de dependência espacial entre as amostras ao longo de um suporte específico. Para representar a semivariância dos dados em relação a distância

correspondente que os separa, utiliza-se um gráfico conhecido como semivariograma, que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (HUIJBREGTS, 1975).

Para a estimação da dependência espacial, uma curva é ajustada e representada pelo semivariograma. Assim, a referida curva representa a máxima correlação possível com os pontos plotados. O modelo ajustado é chamado de modelo teórico do semivariograma. Neste modelo é possível obter valores dos parâmetros: 1) alcance, que estabelece o limite de dependência espacial; 2) patamar que é o valor no qual o semivariograma estabiliza-se, ou seja, a partir deste ponto já não existe mais correlação devido à grande distância que separa as amostras e 3) efeito pepita, que é o valor de origem da função semivariância e também representa as variações locais de pequenos erros, como erros de amostragem e de medidas (CRESSIE, 1993, TEIXEIRA, 2013).

A geoestatística tem se apresentado como importante ferramenta no estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo e da e da produtividade das cultura. E a aplicação da geoestatística tem se tornado cada vez mais comum. Esta técnica oferece um conjunto de ferramentas estatísticas, que auxilia no processamento e na avaliação dos dados e ainda possibilita a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos avaliados, considerando a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem. Segundo Cambardella et al. (1994), esta técnica é adequada no estudo do manejo que vise aperfeiçoar as práticas culturais na produção e na conservação do solo.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOCK B.; PACHEPSKY, Y. A. Holes in precision farming: mechanistic crop models. In: **European Conference On Precision Agriculture**, 1., 1997, London: SCI, 1997. p. 397-404.

ADORNA, J. C. **Fertilization with filter cake and micronutrients in plant cane**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.37, n.3, 2013

ALBRECHT, L. P. **Teores de óleo, proteína e qualidade das sementes em resposta à semeadura antecipada da soja**. 2006. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, PR, 2006.

ALBRECHT, L.P.; BRACCINI, A. DE L.E.; ÁVILA, M.R.; SUZUKI, L.S.; SCAPIM, C.A. e BARBOSA, M.C. Teores de óleo, proteínas e produtividade de soja em função da antecipação da semeadura na região oeste do Paraná. *Bragantia*, 67:865-873, 2008.

ALMEIDA, E.S. de. **Econometria espacial aplicada. Mestrado em Economia Aplicada da Universidade Federal de Juiz de Fora**: 2º semestre de 2007

ARIAS, C. A., PÍPOLO, A.E. EMBRAPA Soja – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Soja sofre redução no teor de proteína ao longo do tempo. (2015). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/7693893/soja-sofre-reducao-no-teor-de-proteina-ao-longo-do-tempo>>. Acesso 08 março de 16.

ARRUDA, C. A. O.; Alves, M. V.; Mafra, A. L.; Cassol, P. C.; Albuquerque, J. A.; Santos, J. C. P. **Aplicação de dejetos suíno e estrutura de um Latossolo Vermelho sob semeadura direta**. Ciência e Agrotecnologia, v.34, p.804-809, 2010.

AZEVEDO, L. A. S.; JULIATTI, F. C.; BARRETO, M. Resistência de Genótipos de Soja à *Phakopsora pachyrhizi*. **Summa Phytopathol.**, Botucatu, v. 33, n. 3, p. 252-257, 2007.

BALASTREIRE, L.A. Estudo de caso: uma pesquisa brasileira em agricultura de precisão. In: Silva, F.M. **Mecanização e agricultura de precisão**. Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.203-232.

BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G.; RODRIGUES, S.; NÓBREGA, L. H. L.; OPAZO, M. A. U.; SANTOS, D.; KONOPATZKI, M. R. S.; SUSZEK, G. **Definição de unidades de manejo para controle de plantas invasoras**. In: Avances en Ingeniería Rural 2007-2009. Rosario: UNR, p. 835-842, 2009.

BAZZI, C. L. **Software para definição e avaliação de unidades de manejo em agricultura de precisão**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Cascavel. 2011.

BELLALLOUI, N., YIN, X., MENGISTU, A., MCCLURE, M. A., TYLER, D. D., REDDY, N. K. Soybean Seed Protein, Oil, Fatty Acids, and Isoflavones Altered by Potassium Fertilizer Rates in the Midsouth. **Journal of Plant Sciences**, 2013.

BENZAIN, B.; LANE, P.W. **Protein concentration of grains in relation to some weather and soil factors during 17 years of English winter-wheat experiments**. Journal of the

Science of Food and Agriculture, v. 37, p. 435-444, 1986.

BLACKMORE, B.S.; LARSCH, G. Strategies for managing variability. In: **European Conference on Precision Agriculture**, 1., Warwick, Inglaterra, Proceedings, p.851-859, 1997.

BINSFELD, J. A.; BARBIERI, A. P. P.; HUTH, C.; CABRERA, I. C.; HENNING, L. M. M. **Uso de bioativador, bioestimulante e complexo de nutrientes em sementes de soja**. Pesqui. Agropecu. Trop., v. 44, n. 1, Mar 2014.

BOERMA, H.R.; SPECHT, J.E. Soybeans: improvement, production and uses. 3rded. Madison: **American Society of Agronomy**, 2004. 1180p.

BONATO, E.R.; BERTAGNOLLI, P.F.; LANGE, C.E. e RUBIN, S.A. Teor de óleo e de proteína em genótipos de soja desenvolvidos após 1990. Pesq. Agropec. Bras., 35:2391-2398, 2000.

BRUMM, T.J., and C.R. Hurburgh. 1990. Estimating the processed value of soybean. J. Am. Oil Chem. Soc. 67:302–307. doi:10.1007/BF02539680

BRUSCO, J.; SOUZA, E.G.; JUNIOR, F. A. R.; JOHANN, J. A.; PEREIRA, J. O. **Mapas de Lucratividade da Soja em Sistemas de Cultivo Agricultura de Precisão e Cultivo Convencional**. 3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão – Sete Lagoas, MG. 2005

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. **Field-scale variability or soil properties in Central Iowa Soils**. Soil Science Society America Journal, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.

CAVALCANTE, E.G.S. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, n.31, p.1329-1339, 2007.

CLONINGER, F.D.; HORROCKS, R.D.; ZUBER, M.S. Effects of harvest date, plant density, and hybrid on corn grain quality. Agronomy Journal, Madison, v.67, p.693-695, 1975.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão no gerenciamento da fertilidade do solo sob PD no Cerrado. **Direto no Cerrado**, Brasília, n.37, p.10, 2004.

COELHO, A.M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: **Tópicos em ciência do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, III, p.349-290, 2003.

CONAB - **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. V.1, N.3. CONAB, 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_03_11_14_07_48_boletim_graos_marco_2015.pdf>. Acesso em 11 Mar 2015.

CONAB - **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. V.3, N.5. CONAB, 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_02_04_09_05_00_boletim_graos_fevereiro_2016.pdf>. Acesso em: 08 Mar 2016.

COMIN, J. J.; LOSS, A.; VEIGA, M.; GUARDINI, R.; SCHMITT, D. E.; OLIVEIRA, P. A. V.; BELLI FILHO, P.; COUTO, R. da R.; BENEDET, L.; MULLER JÚNIOR, V.; BRUNETTO, G. **Physical properties and organic carbon content of a Typic Hapludult soil fertilised with pig slurry and pig litter in a no-tillage system**. Soil Research, v.51, p.459-470, 2013.

CORÁ, J.E. **The potential for site-specific management of soil and yield variability induced by tillage**. East Lansing, Michigan State University, 1997. 104p.

COSTA NETO, P. R. e ROSSI, L. F. S. **Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em fritura**. Química Nova, v.23, p. 4, 2000.

CRESSIE, N.A.C. **Statistics for Spatial Data, Revised Edition**. John Wiley e Sons, New York, 928p. 1993.

CZAPLEWSKI, R.L., e Reich, R.M. Expected value and variance of Moran's bivariate spatial autocorrelation statistic under permutation. Fort Collins, CO: Research Paper. 1993

DE CAIRES, S. A.; WUDDIVIRA, M. N.; BEKELE, I. Spatial analysis for management zone delineation in a humid tropic cocoa plantation. **Precision Agriculture**, v.16, n. 2, Jul 2014, pag. 129-147. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-014-9366-5>

DELGADO, J.A.; BRAUSCH, W. **Potential use of precision conservation techniques to reduce nitrate leaching in irrigated crops**. *Journal of Soil and Water Conservation* 60(6):379-387. 2005.

DEPARIS, G.A.; LANA, M.C.; FRANDOLOSO, J.F. **Espaçamento e adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura do milho**. Acta Sci. Agron., v. 29, n. 4, p. 517-525, 2007.

DHAKAL, K. H., LEE, J. D., JEONG, Y. S., KIM, H. S., SHANNON, G. J, HWANG, Y. H. Stability of linolenic acid in seed oil of soybean accessions with elevated linolenic acid concentration. *Journal of Food, Agriculture e Environment*, Vol.11 (1), January 2013.

DORAN, J.W. e PARKIN, T.B. **Defining and assessing soil quality**. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. e STEWART, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, SSSA, 1994. p.1-20.

DUARTE, A.P.; MASON, S.C.; JACKSON, D.S.; KIEHL, J.C. Grain Quality of Brazilian Maize Genotype as Influenced by Nitrogen Level. *Crop Science*, Madison, v.45, p.1958-1864, 2005.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de Produção de Soja**. Embrapa Soja, 1º ed. Londrina, PR, 2013

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Soja sofre redução no teor de proteína ao longo do tempo. (2015). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/7693893/soja-sofre-reducao-no-teor-de-proteina-ao-longo-do-tempo>>. Acesso 08 março de 2016.

EARLE, F.R.; CURTIS, J.J.; HUBBARD, J.E. Composition of the component parts of the corn kernel. *Cereal Chemistry*, Saint Paul, v.23, p.504-511, 1946

FARACO, M. A., URIBE-OPAZO, M. A., SILVA, E. A. A., JOHANN, J. A., e BORSSOI, J. A. **Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n.1, p. 463-476, 2008.

FARACO, M. H.; MORAES, R. M.; TEIXEIRA, J. P. F.; SILVA, M. T. R.; MASCARENHAS, H. A. A. Influência de anos agrícolas sobre a composição e acúmulo de óleo em grãos de soja CV Santa Rosa In: **SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA**, 1., 1981, Brasília.

Anais. Londrina: EMBRAPA/CNPQSO, 1981. p. 544-553.

FERRARI FILHO, E. **Métodos e temperaturas de secagem sobre a qualidade físico-química e microbiológica de grãos de milho no armazenamento**. 2011. 109 f. Dissertação (Pós-Graduação em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FINOTO, E.L. **Variabilidade fenotípica dos teores de óleo e proteína de cultivares de soja em diferentes ambientes**. 2008. 116p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. U.S. Food labeling health claims: soy protein and coronary heart disease. Food and Drug Administration, HHS. Final rule. Fed Regist. 1999, 64:57700–33.

FRANCISCO, P. D. A importância da cartografia temática na análise do espaço geográfico: qualidade de água versus ocupações irregulares no Aglomerado Metropolitano de Curitiba. Sanare - Revista Técnica da Sanepar, Curitiba, v.20, n.20, p.35-41, 2003

GALLO, J.R.; TEIXEIRA, J.P.F.; SPOLADORE, D.S. Influência da adubação nas relações entre constituintes químicos dos grãos, dos grãos e das folhas, e a produção de milho. Bragantia, Campinas, v.35, p.413-432, 1976.

GENTER, C.F.; EHEART, J.F.; LINKOUS, W. N. Effects of location, fertilizer, and rate of planting on the oil and protein content of corn grain. Agronomy Journal, Madison, v.48, p.63-67, 1956.

GREGO, R. C.; VIEIRA, S. R. **Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 29, n. 2, p.169-177, 2005.

HEDLEY, C. The role of precision agriculture for improved nutrient management on farms. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v.95, n. 1, Jun 2015, pág. 12-19. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.6734>

HORAN, F.E. **Soy protein products and their production**. Journal of the American Oil Chemists Society, New York, v.51, n.1, p.67-73, 1974.

HORBE, T.A.N. et al. Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. Precision Agriculture, v.14, n., p.450-465, 2013.

HUIJBREGTS, C. J. Regionalized variables and quantitative analysis of spatial data. In: DAVIS, J. C.; McCULLAGH, M. J. (Ed.). Display and analysis of spatial data. New York: John Wiley, 1975. p.38-53.

HOPKINS, J.W.; SHNITKEY, G.D.; MIRANDA, M.J.; TWEETEN, L.G. Learning from yield monitors: a Bayesian approach. In: International Conference on Precision Agriculture, 4., St. Paul, Estados Unidos, Proceedings, part A, p.183-193, 1999.

HYMOWITZ, T.; COLLINS, F. I.; PANCZNER, J.; WALKER, W. M. Relationship between the content of oil, protein, and sugar in **soybean seed**. Agronomy Journal, Madison, v. 64, n. 5, p. 613-616, 1972.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.

JELLUM, M.D.; MARION, J.E. Factors affecting oil content and oil composition of corn (*Zea mays* L.) Grain. *Crop Science*, Madison, v.6, p.41-42, 1966.

JELLUM, M.D.; BOSWELL, F.C.; YOUNG, C.T. Nitrogen and boron effects on protein and oil of corn grain. *Agronomy Journal*, Madison, v.65, p.330-331, 1973.

JENSEN, H. G.; JACOBSEN, L.; PEDERSEN, S. M.; TAVELLA, E. **Socioeconomic impact of widespread adoption of precision farming and controlled traffic systems in Denmark.** *Precision Agriculture*, v.13, n. 6, Dez 2012, pag. 661-677.

JOHNSON, H. W.; ROBINSON, H. F.; COMSTOCK, R. E. Genotypic and phenotypic correlations in soybeans and these implications in selection. ***Agronomy Journal***, Madison, USA, v. 47, p. 477-483, 1955.

KESTRING, F.B.F. **Análise geoestatística de mapas temáticos da produtividade da soja com diferentes grades amostrais.** 2011. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

KWON, S. H.; TORRIE, J. H. Heritability and interrelationship among traits of two soybean populations. *Crop Science*, Madison, USA: **Crop Science** Society of America, v. 4, p. 196-198, 1964.

LANG, A.L.; PENDLETON, J.W.; DUNGAN, G.H. Influence of population and nitrogen levels on yield and protein and oil contents of nine corn hybrids. *Agronomy Journal*, Madison, v.48, p.284-289, 1956.

LIMA, C. G. R.; CARVALHO, M. P.; NARIMATSU, K. C. P.; SILVA, M. G.; QUEIROZ, H. A. Atributos físico- químicos de um Latossolo do cerrado brasileiro e sua relação com características dendrométricas do eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 163-173, 2010.

LIMA, G. J. M. M. **Milho: o grão que vale ouro na dieta das aves.** *Revista Avisite O Portal da Avicultura na Internet*, 2011.

LIMA, P.R. **Importância de atributos físicos do solo na identificação da compactação.** *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável* Artigo Científico <http://revista.gvaa.com.br>, 2013

LLANILLO, R.F; RICHART, A; TAVARES FILHO, J; GUIMARÃES, M.F; FERREIRA, R. R. M. **Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas** anuais. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 27, n. 2, p. 205-220, abr./jun. 2006

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos.** São Paulo: FUNEP, 1998. 226p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas : princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MANN, E.N.; RESENDE, P.M.; MANN, R.S.; CARVALHO, J.G.; PINHO, E.V.R. von. Efeito da aplicação de manganês no rendimento e na qualidade de sementes de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.37, n.12, p.1757-1764, 2002.

MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R.T.; GALLO, P.B.; PE-REIRA, J.C.V.N.A.; AMBROSANO, G.M.B.; CARMELLO, Q.A.C. Efeito da calagem sobre a produtividade de

grãos, óleo e proteína em cultivares precoces de soja. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.53, n.1, p.164-172, 1996.

MATHERON, G. **Principles of Geostatistics**. Economic Geology, Lancaster, v. 58, n.1, p. 1246-1266, 1963

MATTIONI, N.M, SCHUCH, L.O.B, VILLELA, F.A. **Variabilidade espacial e efeito de atributos químicos de latossolo na população de plantas e produtividade da cultura da soja**. Revista da FZVA Uruguaiana, V.19, n.1, p.20-32. 2013

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. (editor). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: SBCS/UFV, 2006. p. 281-298.

MINUZZI, A. Desempenho agrônomo, qualidade de sementes e teores de óleo e proteínas de quatro cultivares de soja, colhidas em dois locais no Estado do Mato Grosso do Sul. 2007. 98f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, PR.

MISEVIC, D.; ALEXANDER, D.E. Twenty-four cycles of phenotypic recurrent selection for percent oil in maize. I: Per se and teste-cross performance. **Crop Science**, Madison, v. 29, n. 2, p. 320-324, 1989.

MIRANDA, J.E.C. de; FRANCA, F.H.; CARRIJO, O.A.; SOUZA, A.F.; AGUILAR, J.A.E. Cultivo de batata-doce (*Ipomea batatas* (L.) Lam). Brasília, DF, EMBRAPA-CNPQ, 1987. p. 7. (EMBRAPA-CNPQ. Instruções Técnicas, 7).

Molin, J. P.; Rabello, L. M. **Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo**. Engenharia Agrícola, v.31, p.90-101, 2011.

MONTANARI, R.; SOUZA, G.S.A.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JUNIOR, J.; SIQUEIRA, D.S.; SIQUEIRA, G.M. **The use of scaled semivariograms to plan soil sampling in sugarcane fields**. *Precision Agriculture*, v.13, p.542-552, 2012. DOI: 10.1007/s11119-012-9265-6.

OLIVEIRA, M.A; ZUCARELI, C.; SPOLAOR, T.L; DOMINGUES, R.A; FERREIRA, S. **A Composição química dos grãos de milho em resposta à adubação mineral e inoculação com rizobactérias**. Revista Ceres vol.59 no.5 Viçosa, 2012

OLIVEIRA FILHO, X.F. **Análise espacial da compactação do solo em área cultivada com cana de açúcar**. Tese (Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2014).

PANOSSO, A. R.; Pereira, G. T.; Marques Júnior, J. ; La Scala Júnior, N. Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo. Engenharia Agrícola, v.28, p.227-236, 2008.

PIMENTEL, F. G.; GARCIA, G. H.. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz, 2002. 307 p.

PENHA, L.A.O. **Análise comparativa da composição de soja orgânica e não orgânica**. Dissertação, UEL, Londrina, 2003

PETTIGREW, W.T. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. *Physiologia Plantarum*, v.133 p.670-681, 2008.

PEIXOTO, C. P.; CÂMARA, G. M. S.; MARTINS, M. C; MARCHIORI, L. F. S.; GUERZONI, R. A.; MATTIAZZI, P. Época de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componentes da produção e rendimento de grãos. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 89-96, 2000.

PÍPOLO, A.E. **Influência da temperatura sobre as concentrações de proteína e óleo em sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. 2002. 128p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

RANGEL, M.A.S.; CAVALHEIRO, L.R.; CAVICHIOILLI, D.; CARDOSO, P.C. **Efeito do genótipo e do ambiente sobre os teores de óleo e proteína nos grãos de soja, em quatro ambientes da região sul de Mato Grosso do Sul, safra 2002/2003**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2004. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 17).

RAO, A.C.S.; SMITH, J.L.; V.K.; JANDHYALA, R.I.; PARR, J.F. **Cultivar and climatic effects on the protein content of soft white winter wheat**. *Agronomy Journal*, v.85, p.1023-1028,

REICH, R. M. **Spatial Statistical modeling of natural resources**. Colorado State University. Fort Collins. 2008.1993.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. HORN, R.; HAKANSSON, I. **Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils., Soil and Tillage Research** v.102, p.242-254, 2009. DOI: 10.1016/j.still.2008.07.002.

REYNOLDS, W. et al. **Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions**. *Geoderma*, v. 146, n. 3-4, p. 466-474, 2008.

REZENDE, P. M.; CARVALHO, E. R.; SANTOS, J. P.; ANDRADE, M. J. B.; ALCANTARA, H. P. Enxofre aplicado via foliar na cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 33, n. 5, p. 1255-1259, 2009.

RODRIGUES, J.I.S.; MIRANDA, F.D.; FERREIRA, A.; BORGES, L.L.; FERREIRA, M.F.S.; PIOVESAN, N.D.; BARROS, E.G.; CRUZ, C.D.; MOREIRA, M.A. **Mapeamento de QTL para conteúdo de proteína e óleo em soja**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45,n.5,p.472-480, 2010.

ROSTAGNO, H. S.; ALBINO, L. F. T; DONZELE, J. L. et al. **Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais**. 3.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011. 252p.

ROTUNDO, J.L.; WESTGATE, M.E. Meta-analysis of environmental effects on soybean seed composition. **Field Crops Research**, v.110, p.147-156, 2009. 5 DOI: 10.1016/j.fcr.2008.07.012.

SA, J.C.M. **Reciclagem de nutrientes dos resíduos culturais, e estratégia de fertilização para a produção de grãos no sistema plantio direto**. In: SEMINÁRIO SOBRE O SISTEMA PLANTIO DIRETO NA UFV, 1., Viçosa, 1998. Resumo das palestras. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. p.19-61

SANCHEZ, R. B.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M de. **Variabilidade espacial de propriedade do latossolo e da produção de café em diferentes superfícies geométricas**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.4, p.489-495, 2005

SANTOS, A. C.; FERREIRA, E. M.; ARAÚJO, L. C. **Propriedades físicas e químicas de solos em áreas sob pastagens em cerrado do norte do Tocantins**. *Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais*, v. 7, p. 55-63, 2009.

SANTOS, E. L.; PÍPOLO, A. E.; FARIA, R. T.; PRETE, C. E. C. Influence of genotype on protein and oil concentration of soybean seeds. *Brazilian Archives of Biology and Technology*,

Curitiba, v. 53, n. 4, p. 793-799, 2010.

SECCO, D. REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. SILVA, V.R. da. **Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados**. Ciência Rural v.39, p.58-64, 2009. DOI: 10.1590/S0103-84782009000100010.

SCHEPERS A. R.; SHANAHAN J. F.; LIEBIG M. A.; SCHEPERS J. S.; JOHNSON S. H.; LUCHIARI J. A.; **Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years**. Agronomy Journal, Madison, v. 96, p. 195-203, 2004.

SCHAFFRATH, V. R.; Tormena, C. A.; Gonçalves, A. C. A.; Fidalski, J. Variabilidade e correlação espacial de propriedades físicas de solo sob plantio direto e preparo convencional. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.1369-1377, 2008.

SCHIEFFER, J.; DILLON, C.; **The economic and environmental impacts of precision agriculture and interactions with agro-environmental policy**. Precision Agriculture, v.16, n. 1, Fev 2015, pag. 46-61. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-014-9382-5>

SCHMIDT, A.; LIMA, G.J.M.M.; KLEIN, C.H. Composição química de híbridos de milho produzidos na safrinha em Marechal Cândido Rondon, Paraná. Concórdia: Embrapa/CNPQA, 2004. 4p. (Comunicado técnico, 357).

SEDIYAMA, T.; PEREIRA, M.G.; SEDIYAMA, C.S.; GOMES, J.L.L. Cultura da Soja, Parte I. Viçosa: UFV, 1993. 97p.

SEDIYAMA, T.; PEREIRA M. G.; SEDIYAMA, C. S.; GOMES, J. L. L. **Cultura da soja (Parte I)**. Universidade Federal de Viçosa. Imprensa Universitária, Viçosa, 1996. 69 p.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; REIS, M. S. Melhoramento da soja. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Editora UFV. Viçosa, 2005. 969p.

SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; NEPOMUCENO, A.L.; OLIVEIRA, M.C.N. de. Eficácia de produtos contendo micronutrientes, aplicados via semente, sobre produtividade e teores de proteína da soja. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.21, p.41-45, 1997.

SILVA, T.R.B. da. **Adubação nitrogenada e resíduos vegetais no desenvolvimento do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) em sistema de plantio direto**. 2002. 56p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. BORTOLUZZI, E.C. **Soil water dynamics related to the degree of compaction of two Brazilian oxisols under no-tillage**. Revista Brasileira de Ciência do Solo v.33, p.1097-1104, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000500003.

SILVA, S. A. et al. **Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, p. 15-22, 2011.

SIMPSON JUNIOR, A. M.; WILCOX, J. R. Genetic and phenotypic associations of agronomic characteristics in four high protein soybean populations. Crop Science, Madison, USA: **Crop Science Society of America**, v. 23, p. 1077-1081, 1983.

SHOEMAKER, H.E.; McLEAN, E.O. & PRATT, P.F. Buffer methods for determining lime requirements of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. Soil Sci. Soc. Am.

Proc., 25:274-277, 1961.

SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; URIBE-OPAZO, M. A. Interpolation type and data computation of crop yield maps is important for precision crop production. **Journal of Plant Nutrition**, v. 39: 531-538 2016.

SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; URIBE-OPAZO, M. A. **Thematic and profitability maps for precision agriculture**. In: 10th International Conference on Precision Agriculture, 2010, Denver. Proceedings of the 10th International Conference on Precision Agriculture, v. 1. 2010.

SOUZA, Z. M.; MARQUES, J. J.; Pereira G. T.; Bento, M. J. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho eutroférrico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, p.51-58, 2004.

SOUZA, Z. M.; CERRI, P. D. G.; MAGALHÃES, P. G.; CAMPOS, M. C. C. **Correlação dos atributos físicos e químicos do solo com a produtividade de cana-de-açúcar**. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*. v. 8, n. 2, 2008.

SOUZA, Z. M.; CERRI, D. G. P.; MAGALHÃES, P. S. G.; SIQUEIRA, D. S. **Spatial variability of soil attributes and sugarcane yield in relation to topographic location**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 12, p. 250–1256, 2010.

SOUZA, E. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de um neossolo flúvico. Variabilidade espacial de atributos físicos em solo submetido à diferentes tipos de uso e manejo d. r. araújo et al. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 27, n. 2, p. 101 – 115, abr. – jun., 2014

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; MIRANDA, M.A.C. Effect of liming on soybean protein and oil yield. *Better Crops International*, Atlanta, v.7, n.2, p.9, 1991.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; REGITANO- D'ARCE, M.A.B.; GALLO, P.B. Concentração e produtividade de óleo e proteína de soja em função da adubação potássica e da calagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.30, n.4, p.463-469, 1995

TANGO, J.S.; MASCARENHAS, H.A.A.; FIGUEIREDO, I.B.F; SHIROSE, I. **Influência de localidade de cultura nos teores de matéria graxa e proteína nos grão de soja e de ácido graxos no óleo**. *Coletânea do ITAL*, Campinas, v.5, p.339-344, 197b.

TEIXEIRA, M. B. R. **Comparação entre estimadores de semivariância**. 2013. 122p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

VEIGA, M.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.. KAISER, D.R **Short and long-term effects of tillage systems and nutrient sources on soil physical properties of a Southern Brazilian Hapludox**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* v.32, p.1437-1446, 2008. DOI: 10.1590/S0100-06832008000400008.

VEIGA, A. D.; PINHO, E. V. R. V.; VEIGA, A. D.; PEREIRA, P. H. A. R.; OLIVEIRA, K. C.; PINHO, R. G. V. Influência do potássio e da calagem na composição química, qualidade fisiológica e na atividade enzimática de sementes de soja. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, n. 4, p. 953-960, 2010

VIEIRA, M.L. e KLEIN, V.A. **Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo**. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1271-1280, 2007

VIEIRA, S.R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ, V.H., SCHAEFER, G.R. (ed) Tópicos em Ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira do Solo, v.1, 2000.p.1-54.

VOLDENG, H. D.; COBER, E. R.; HUME, D. J.; GILLARD, C.; MORRISON, M. J. Fifty-eight years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada. **Crop Science**, Madison, USA: Crop Science Society of America, v. 37, p. 428-431, 1997.

WELCH, L.F. Effect of N, P, and K on the percent and yield of oil in corn. *Agronomy Journal*, Madison, v.61, p.890-891, 1969.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; OLIVEIRA, R. C.; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. **Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto**. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 256-265, 2012.

WILCOX, J.R.; CAVINES, J.F. **Normal and low linolenic acid soybean strains. Response to planting date**. *Crop Science*, v.32, p.1248-1251, 1992.

WILSON, R. E. Seed composition. In: BOERMA, H. R. J. E. (Ed.). **Soybeans: improvement, production and uses**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 2004. p. 621-677.

WILCOX, J. R.; GUODONG, Z. Relationship between seed yield and seed protein in determinate and indeterminate soybean populations. **Crop Science**, West Lafayette, v. 37, n. 2, p. 361-364. 1997.

WOLLENHAUPT. N. C.; WOLKOWSKI. R. P.; CLAYTON. M. K. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. **Journal of Production Agriculture**, v. 7, p. 441-448. 1994.

YUAN, J.; FLORES, R.A.. Laboratory dry-milling performance of white corn: effect of physical and chemical corn characteristics. *Cereal Chemistry*, Saint Paul, v.73, p.574 – 578, 1996.

ZANON, G. D. **Teor de proteína e de óleo em grãos de soja obtidos sob diferentes tipos de manejo**. 2007. 62 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, 2007.

ZHANG, F.; MACKENSIE, A.F.; SMITH, D.L. Corn yield and shifts among corn quality constituents following application of different nitrogen fertilizer sources at several times during corn development. *Journal of Plant Nutrition*, Abingdon, v.16, n.7, p.1317-1337, 1993.

ZHANG F, Mackenzie AF e Smith DL (1994) **Nitrogen fertilizer and protein, lipid, and non-structural carbohydrate concentrations during the course of maize kernel filling**. *Journal of Agronomy e Crop Science*, 172:171-181.

ZONTA, J. H.; BRANDÃO, Z. N.; MEDEIROS, J. da C.; SANA, R. S.; SOFIATTI, V. **Variabilidade espacial do solo em área cultivada com algodoeiro no Cerrado do Brasil**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.595-602, 2014

5. ARTIGOS

5.1 ARTIGO 1

ESPACIALIZAÇÃO DOS TEORES DE PROTEÍNA E ÓLEO DE SOJA E SUA CORRELAÇÃO COM OS ATRIBUTOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE

RESUMO: Os atributos que podem influenciar os teores de proteína e óleo do grão de soja são muitos, dentre eles químicos e físicos do solo, textura, resistência mecânica à penetração e altitude. Assim, este estudo teve como objetivo analisar a variabilidade espacial dos teores de proteína e óleo de grãos de soja e correlacioná-los com os atributos do solo e com a produtividade da cultura. O experimento foi conduzido em duas áreas experimentais, cultivadas sob sistema de plantio direto em dois anos agrícolas 2012/13 e 2013/14. A cultivar utilizada no experimento foi a CD 2012 da COODETEC. Calculou-se então o índice de dependência espacial, elaboraram-se os mapas temáticos e realizou-se a correlação espacial entre os parâmetros de qualidade da soja e atributos do solo. Dentre os atributos utilizados neste estudo, as principais correlações positivas do teor de proteína foram com o potássio e a altitude. De forma negativa com argila, resistência mecânica à penetração na profundidade 20-30 cm (???) e com o teor de óleo. O teor de óleo além da proteína correlacionou-se de forma positiva significativa com a matéria orgânica.

PALAVRAS-CHAVE: atributos do solo, teor de proteína e teor de óleo, soja, variabilidade espacial.

SPATIAL ANALYSIS OF QUALITY PARAMETERS OF SOYBEANS ITS CORRELATION WITH CHEMIC AND PHYSIC ATTRIBUTES OF SOIL AND YIELD

ABSTRACT: There are many attributes that can influence soybean protein and oil contents, which may have as examples chemical and physical soil properties, texture, mechanical resistance to penetration and altitude. Besides yield, studies involving parameters such as quality are essential, since raw materials are seen as a possibility to be used in industry. Thus, this trial aimed at carrying out spatial analysis of quality parameters for soybean and maize (protein and oil content). The index of spatial dependence was calculated, while thematic maps were drawn. Further, analysis of spatial correlation among these parameters and attributes of soil was carried out as well as physical (soil penetration resistance) and chemical of soil (P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn MO, Al, pH, H+Al, SB, SMP e Sat. Al, texture (sand, silt and clay), altitude and yield were also recorded. This trial was carried out in two areas (A and B) cropped with soybeans (summer crop), the cultivar used in the experiment was the CD 2012 COODETEC. Among the studied attributes, the main positive correlations concerning protein content were recorded with potassium and altitude in both experimental areas (A and B) as well as in both studied agricultural years (2012/2013 and 2013/2014). A negative answer was registered for clay, mechanical resistance to penetration at 20-30-cm depth and protein in area B in both agricultural years. Soybean protein and its oil were inversely correlated in both experimental areas: area A (2013/14) and area B in both years (2012/13 and 2013/14).

KEYWORDS: soil attributes, protein content and oil content, soybeans, spatial variability.

INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma cultura de destaque entre as oleaginosas devido a seus altos teores de proteína (40%) e óleo (20%), contém mais proteína e óleo do que muitas outras culturas (Boerma e Specht, 2004). Estes teores são considerados indicadores importantes de qualidade e anunciados na embalagem e ainda agrega valor ao produto (Dhakal et al., 2013; Brumm e Hurburgh, 1990).

A soja é considerada uma fonte de proteína de alta qualidade para a alimentação humana, capaz de substituir a proteína animal. Por conter todos os aminoácidos essenciais e em proporção adequada, o FDA (Food and Drug Administration, 1999) autorizou o uso de alegações de saúde nas rotulagens de alimentos. Outros países, com petições semelhantes, também aprovaram tais rotulagens, como o Japão em 1996, Reino Unido em 2002, África do Sul em 2002, Filipinas em 2004, Brasil em 2005, Indonésia em 2005, Coreia em 2005 e Malásia em 2006. De acordo com o FDA (1999) na proteína de soja estão incluídas as proteínas de armazenamento, como Glicinina (11S) e β -conglucina (7S), eficazes contra doenças cardiovasculares, como na redução do colesterol LDL no sangue.

O óleo destinado à alimentação humana e animal, tem sido recentemente utilizado na geração de energia, com a produção de biodiesel. Este biocombustível, é uma fonte renovável de energia que permite reduções nas emissões de compostos poluentes como os óxidos de enxofre e gases que contribuem para o efeito estufa (COSTA NETO et al., 2000) (WILSON, 2004).

Além do alto teor de proteína e óleo encontrado em sua composição nutricional, a soja também contém ácidos graxos (ácido palmítico, ácido oleico, ácido linoleico e ácido linolênico), açúcares (monossacarídeos: glucose e frutose), dissacarídeos (sacarose), oligossacarídeos (rafinose e estaquiose), minerais (P, K, Ca, Mn, Zn, Fe) e vitaminas do complexo B. Essas propriedades são essenciais à alimentação humana e a deficiência de tais minerais pode causar má nutrição e conseqüentemente, problemas de saúde (BELLALLOUI, et al., 2015).

A qualidade nutricional desta oleaginosa, aliada às suas múltiplas utilidades, bem como, na alimentação humana e animal e ainda nas indústrias, gera uma demanda mundial elevada e crescente. O Brasil como o segundo maior produtor mundial de soja, seguido dos Estados Unidos, colabora com este cenário, com uma produção em constante crescimento. Segundo a CONAB (2016) para a safra de 2015/2016, a área plantada de soja foi estimada em 33.200 mil hectares, superando a safra de 2014/2015 em 3,6%. Além do aumento da área cultivada, também se espera incremento de 4,9% na produtividade, totalizando 100 milhões de toneladas.

Esse aumento na produção está associado aos avanços científicos e aos programas de melhoramento, que tem priorizado o trabalho em desenvolver variedades mais produtivas. Porém, com a qualidade nutricional do grão não tem ocorrido o mesmo. Recebimento de lotes de com teores de proteína cada vez menores tem sido uma reclamação frequente dos fabricantes de ração animal, que usam o farelo da leguminosa como matéria-prima, o que dificulta a produção de farelo e aumenta o custo de produção da ração (EMBRAPA, 2015).

O Brasil chegou a produzir farelo de soja com 46% de proteína, e em algumas regiões com 48%. Devido à queda da qualidade da matéria-prima, esses teores de proteína no farelo não são mais conseguidos. Para avaliar as alterações observadas nos teores de proteína, na safra 2014/2015, a Embrapa Soja coletou 867 amostras de soja em diferentes municípios de nove estados brasileiros (RS, SC, PR, MS, MT, MG, GO, SP, BA). O levantamento revelou que a média de proteína (em base seca) é de 36,2% no Rio Grande do Sul; de 37,2%, em Santa Catarina; de 36,3%, no Paraná; de 36,5%, em Mato Grosso do Sul; de 35,5%, em São Paulo; de 35,8%, em Minas Gerais, de 35, 6%, em Goiás, de 35,6%, em Mato Grosso e de 36,1%, na Bahia. O desejável é que o grão de soja tenha, ao menos, 36% de proteína e 14% de umidade para garantir a produção de farelo com teores de proteína adequados (EMBRAPA, 2015).

No entanto a qualidade da produção nutricional e o rendimento final do grão pode variar de acordo com o genótipo e em resposta às condições ambientais durante seu desenvolvimento (Wilson, 2004; Rotundo et al., 2009). Tanto Rangel et al. (2004) e Pípolo (2002) concordam que, em princípio, os teores de óleo e proteína das sementes de soja são governados geneticamente, porém fortemente influenciados pelo ambiente, principalmente durante o período de maturação das sementes, sendo que o conteúdo de proteína é quatro vezes mais dependente das condições ambientais do que da variedade (WILCOX E CAVINES (1995) e RAO et al., (1993).

Arias e Pípolo (2015) afirmam que outro fator importante responsável pela alteração nos teores de proteína é o fato de as empresas de melhoramento genético, nos últimos 40 anos, terem priorizado a produtividade, característica que tem uma relação inversa com o teor de proteínas, quando o grande desafio é aumentar o rendimento sem reduzir o teor de proteína e de óleo.

Dada sua grande importância, extensa área plantada, alto teor de proteínas e óleo e múltiplas utilizações, bem como na alimentação humana e nas indústrias, faz-se necessário a realização de pesquisas dirigidas à obtenção de informações, que contribuam com aumento da produtividade, qualidade e redução dos custos de produção (EMBRAPA, 2013). Brusco et al. (2005) consideram que tal forma de produção é possível com a utilização de tecnologias e metodologias específicas, com o uso de máquinas e equipamentos eficientes, como a tecnologia de agricultura de precisão (AP). A AP tem como propósito aplicar de forma

localizada, os insumos agrícolas em taxa variável a cada sub-região do campo e, dessa maneira, promover a melhoria de suas características, uma vez que as aplicações em quantidades adequadas, nos locais certos, implicam na redução de custos e aumento de produtividade (De Caires, et al., 2014).

Para se adotar a AP se faz necessário o entendimento da variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo e das culturas, sendo que por meio de uma grade amostral, podem-se gerar mapas temáticos referentes a cada atributo e avaliar sua influência em relação à produtividade e a outros atributos das culturas. Francisco (2003) ressalta que quanto maior a quantidade e qualidade dos dados obtidos sobre os componentes envolvidos na produção, melhor será a compreensão do usuário na análise do espaço geográfico, podendo ocorrer que características de um determinado tema podem ser influenciadas por outros.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi estudar a variabilidade espacial dos parâmetros de qualidade da soja (proteína e teor de óleo) e suas correlações em relação aos atributos físicos (resistência do solo à penetração) e químicos do solo fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), matéria orgânica (MO), alumínio (Al), potencial de hidrogeneização (pH), hidrogênio mais alumínio (H+A), Soma de Bases (SB), SMP e saturação por alumínio (Sat. Al), textura (areia, silte e argila), altitude (Alt) e com a produtividade (Prod), para identificar a relação de causa e efeito desses atributos.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na propriedade do Sr. Wanderlei Schenatto, no município de Serranópolis do Iguaçu (PR), localizado na latitude 25°24'28"S e longitude 54°00'17"O e 355 m de altitude, nos anos agrícola 2012/2013 e 2013/2014 em duas áreas experimentais (Figura 1, área A com 10,0 ha e área B com 23,8 ha). O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico típico com elevados teores de argila (EMBRAPA, 2006). As áreas experimentais são manejadas sob sistema de plantio direto há 10 anos, com sucessão das culturas soja e milho para fins comerciais.

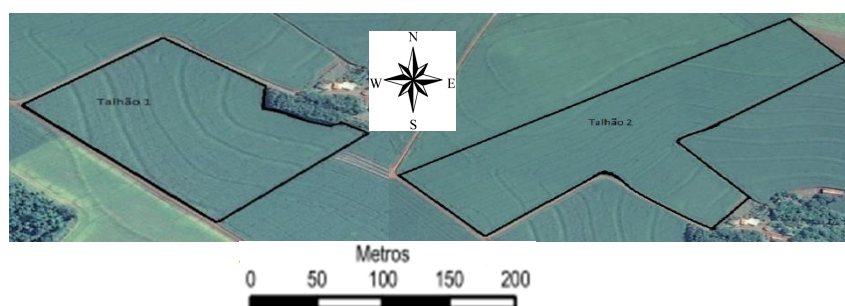


Figura - Áreas experimentais, área A e área B

Fonte: Google Earth (2012)

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa – subtropical úmido, com presença de verão e inverno bem definidos e com possibilidades de geadas e chuvas regulares em todos os meses. Os dados meteorológicos (Figura 2) de temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa do ar e precipitação, dos anos em estudo (2012, 2013 e 2014) foram obtidos pelo Instituto Tecnológico Simepar. Os dados são referentes a estação meteorológica localizada no município de São Miguel do Iguaçu, PR, por ser a mais próxima das áreas em estudo.

Em 2012 a temperatura média anual foi de 23,1 °C, temperatura máxima de 29,7 °C, temperatura mínima de 17,3 °C, com umidade relativa de 69% e precipitação acumulada de 112,56 mm.

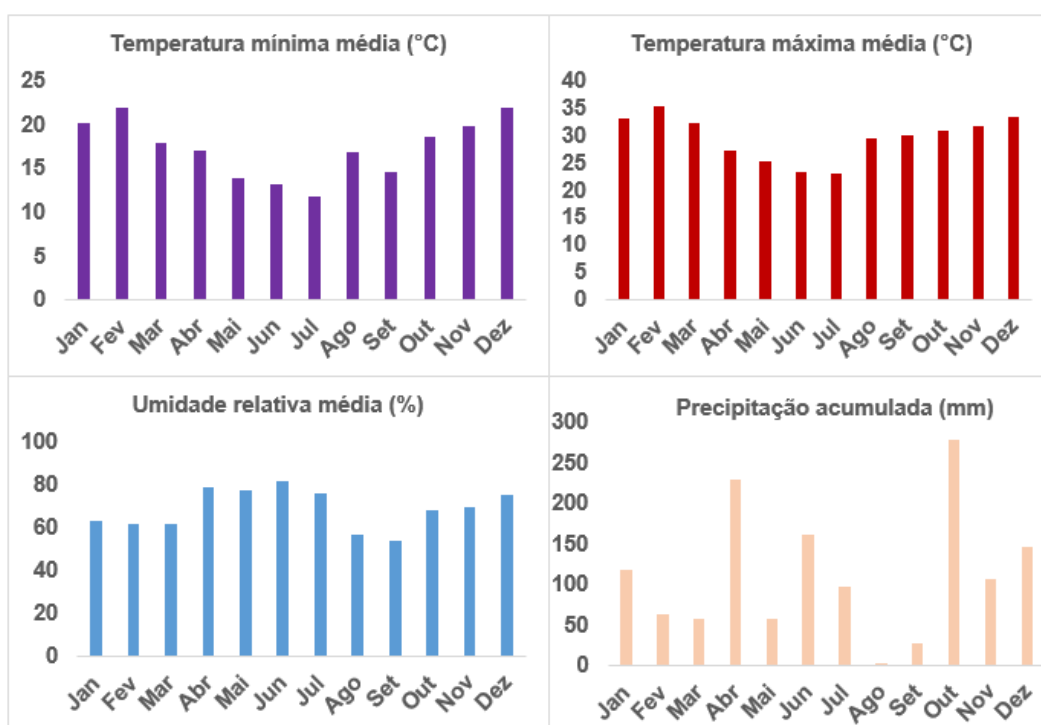


Figura - Variação mensal de temperatura mínima, temperatura máxima, precipitação e umidade relativa de São Miguel do Iguaçu, PR em 2012

Em 2013 a temperatura média anual foi de 22,0 °C, temperatura máxima de 28,1 °C, temperatura mínima de 16,5 °C, com umidade relativa de 74% e precipitação acumulada de 149,36 mm (Figura 3).

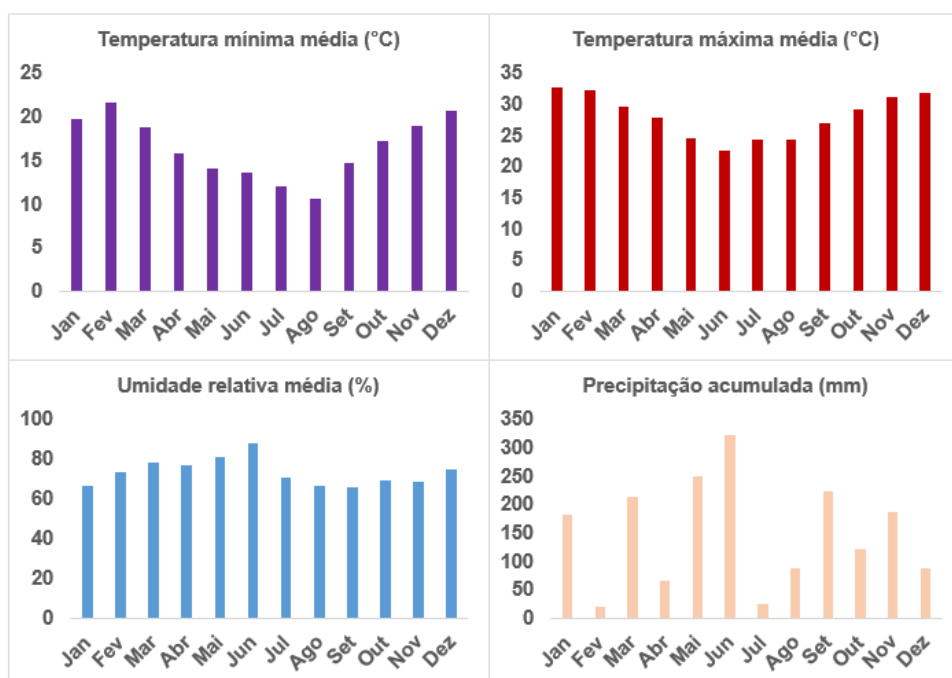


Figura - Variação mensal de temperatura mínima, temperatura máxima, precipitação e umidade relativa de São Miguel do Iguaçu, PR em 2013

Em 2014 a temperatura média anual foi de (22,70°C) temperatura máxima (28,98°C) temperatura mínima (17,43°C) com umidade relativa (74,90%) e precipitação acumulada de (173,58 mm) (Figura 4).

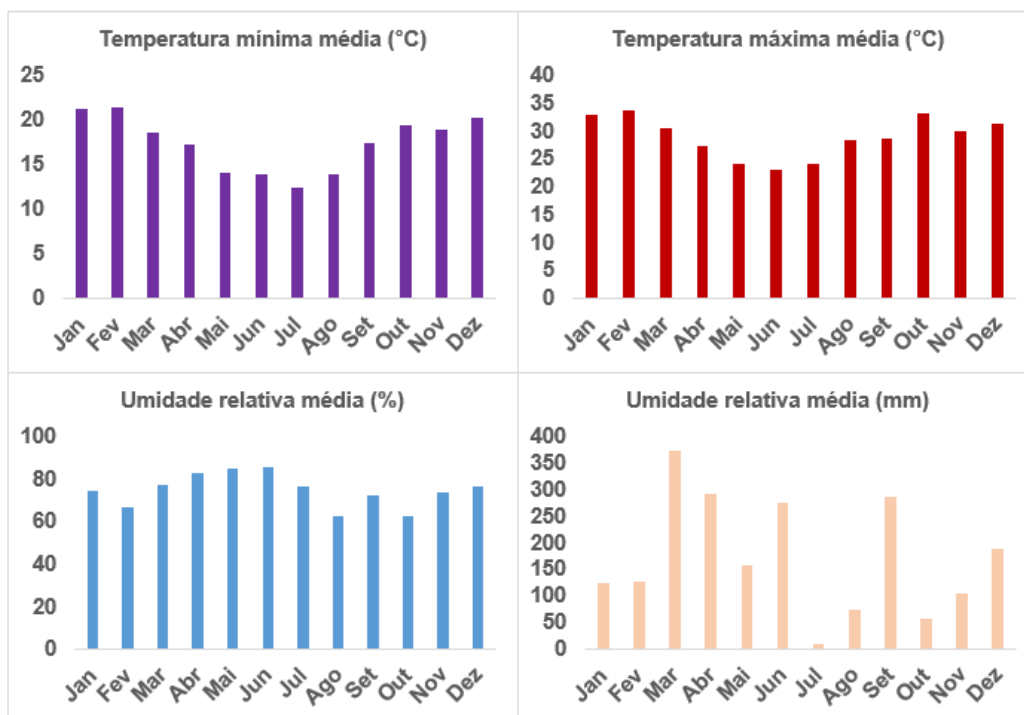


Figura - Variação mensal de temperatura mínima, temperatura máxima, precipitação e umidade relativa de São Miguel do Iguaçu, PR em 2014

Para o mapeamento do contorno das áreas foi utilizado o receptor GPS Trimble Geo Explorer XT 2005 e para geração das grades amostrais, foi utilizado o software Pathfinder. Por se tratar de áreas que possuem grau de declividade e várias curvas de nível optou-se, por utilizar grades amostrais irregulares com distância mínima de 40 m para a determinação da dependência espacial, contendo 42 pontos amostrais no talhão 1 e 73 pontos amostrais no talhão 2 (Figura 5).

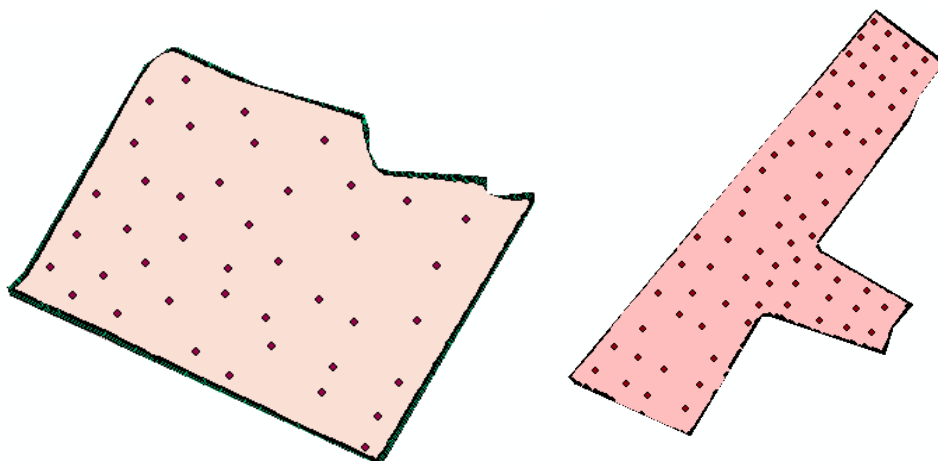


Figura - Grades amostrais, área A e área B

Em cada um dos 115 pontos amostrais, foram determinados os atributos químicos (Al, pH, H+Al, Ca, P, Mg, K, Cu, Zn, Fe, e Mn), textura (argila, silte e areia), resistência mecânica do solo à penetração e altitude.

Oito perfurações foram realizadas para a determinação dos elementos químicos do solo com(sub-amostras), duas por quadrante, em um raio de 3 m do ponto central, na profundidade de 0-0,2 m (adaptado de WOLLENHAUPT et al., 1994). Desta forma, foram realizadas duas coletas de solo (julho/agosto nos anos de 2012 e 2013), com auxílio de um trado manual. Os pontos amostrais foram localizados por um receptor GPS (GPS Trimble GeoExplorer XT 2005). As amostras foram colocadas em sacolas plásticas e enviadas para o laboratório de análise terceirizado (Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola - COODETEC) em Cascavel - PR, para determinação dos atributos químicos e textura.

Para realização das análises dos atributos físicos do solo, foi utilizado o método do anel volumétrico em mesa de tensão (EMBRAPA, 1997). As amostras não deformadas de solo foram coletadas com auxílio de anel volumétrico com volume de (73,5 cm³).

A resistência à penetração do solo foi obtida com a utilização de um penetrômetro eletrônico da marca Falker SoloTrack PLG5300, realizou-se quatro medições no entorno do ponto definido na grade amostral, uma por quadrante, na camada de 0,0 a 0,40 m, sendo posteriormente extraído os valores médios referente as camadas de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m,

0,20-0,30 m e de 0,30-0,40 m de profundidade.

Para a determinação da altitude das áreas utilizou-se o instrumento eletrônico de medição de pontos espaciais, estação total eletrônica Topcon GPT-7505. Definida a elevação calculou-se a declividade em sua função de cada ponto amostral, por meio do software Surfer 10.

No experimento a cultivar de soja utilizada foi a CD 202 COODETEC. Na safra 2012/2013 a cultivar foi semeada em 17 de setembro de 2012, com espaçamento de 50 cm entre linhas. Na linha da semeadura, foi realizada adubação com 200 kg ha⁻¹ de N-P-K com formulação 01-28-00 e foram aplicados a lanço 103 kg ha⁻¹ de Cloreto de Potássio e 21 kg ha⁻¹ de Enxofre. Na safra 2013/2014 a cultura foi semeada em 7 de outubro de 2013 e recebeu o mesmo tratamento da safra anterior.

A produtividade da soja foi determinada nos mesmos pontos onde foram realizadas as amostragens de solo, demarcados com o auxílio de GPS. A colheita e a debulha foram feitas de forma manual. As amostras foram embaladas, identificadas e pesadas, com o teor água medido com um medidor eletrônico de umidade, corrigindo-se a produtividade para o teor água de 12%.

Para a análise do teor proteína, as amostras foram encaminhadas para o laboratório de química e ambiental e instrumental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon. A determinação do teor protéico, foi conduzida pelo método Kjeldahl, descrito pela AOAC (2007), que mensura a quantidade total nitrogenada da amostra, por meio de uma digestão ácida. O nitrogênio da amostra é transformado em amônio (NH⁴), que posteriormente é separado por destilação e dosado pela titulação. Depois de determinado a quantidade total de nitrogênio, este é convertido em proteína pelo uso do fator 6,25.

A análise de lipídeos foi realizada no laboratório de Saneamento, na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Cascavel, pelo método de extração em aparelho extrator de Soxhlet, com solvente éter de petróleo de acordo com a Association of Official Analytical Chemists (Deutsch, 1995), adaptada por Oliveira (2003).

Os dados foram então avaliados por meio de análise exploratória, com o objetivo de verificar a existência de tendência central e dispersão dos dados, com o software Minitab 16. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelos testes de Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de significância. O coeficiente de variação (CV) foi considerado baixo, quando $CV \leq 10\%$; médio, quando $10\% < CV \leq 20\%$; alto, quando $20\% < CV \leq 30\%$; e muito alto, quando $CV > 30\%$ (PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2002).

A seguir, os dados foram analisados por meio da geoestatística, para identificar a variabilidade espacial de cada atributo, conforme VIEIRA (2005), com o software ArcView 10, por meio de sua extensão para análise geoestatística (geo-statistical analyst). Foram então gerados os semivariogramas para cada atributo, o qual permitiu avaliar a existência de

dependência espacial. A semivariância foi estimada pelo estimador clássico de Matheron (1963), padrão do software. Foram utilizados três modelos na geração dos semivariogramas (esférico, exponencial e gaussiano) e ajustados pelo método de ajuste de mínimos quadrados ordinários OLS (Ordinary Last Square) (CRESSIE, 1985), cujos pesos são iguais para todas as semivariância. Adotou-se o modelo isotrópico (semivariograma omnidirecional) com um cutoff de 50% da distância máxima seguindo recomendação de Teixeira e Scalón (2013). A seleção do melhor modelo ajustado foi realizada pelas estatísticas de validação cruzada e otimizada pelo índice de comparação de erros (ICE), método proposto por Souza et al. (2016). Ajustado o melhor modelo obteve-se os parâmetros de efeito pepita, patamar e alcance.

O índice de dependência espacial (IDE), utilizado para classificar a dependência espacial, foi obtido pelo procedimento apresentado por Cambardella et al. (1994) (Equação 2), que classifica a dependência espacial em forte ($IDE < 25\%$), moderada ($25\% < IDE < 75\%$) e fraca ($IDE > 75\%$).

$$IDE = \frac{C_0}{C_0 + C_1} * 100 \quad (2)$$

Em que:

IDE – índice de dependência espacial;

C0 – efeito pepita

C1 – contribuição

C0 + C1 = patamar

Para se avaliar correlação espacial entre as variáveis, a estatística autocorrelação espacial bivariada de Moran (Czaplewski e Reich 1993, Bazzi et al. 2013) foi utilizada. Criou-se uma matriz de correlação espacial que permitiu o exame da correlação cruzada entre variáveis. A matriz de correlação espacial foi gerada com o uso do software SDUM (Bazzi, 2011), adotando-se com 5% de significância com 999 iterações de cálculo.

Para a criação de mapas temáticos os dados foram interpolados por krigagem ordinária. A krigagem possui a vantagem de fazer estimativas sem tendenciosidade e com variância mínima em relação aos valores conhecidos, considerando a estrutura de variabilidade espacial encontrada para o atributo (GREGO; VIEIRA, 2005) (Equação 3).

$$\hat{Z}_i = \sum_{i=1}^n \lambda_i * Z_i \quad (3)$$

Em que:

$\hat{Z}_i$ - é o valor interpolado;

λ_i - é o peso atribuído aos valores amostrais;

Z_i - é o valor do atributo amostrado;

n - é o número de localidades vizinhas empregadas para a interpolação do ponto, sendo que o somatório dos pesos λ_i de ser igual a um.

Os dados de teor de proteína e teor de óleo foram correlacionados com os macronutrientes primários (P e K) e secundários (Ca e Mg), micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn), atributos químicos (MO, Al, pH, H+Al, SB, SMP e Sat. Al), físicos (RSP), textura (areia, silte e argila), altitude e produtividade, afim de avaliar quais atributos estão correlacionados com os parâmetros de qualidade da cultura e quais correlacionam espacialmente entre si.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar os macronutrientes (Tabela 1), observa-se que a variabilidade (CV) dos atributos químicos variou de 17 a 72% na área A, e de 14 a 59% na área B. Segundo a classificação de Pimentel Gomes e Garcia (2002) os valores de CV indicaram na área A, média variabilidade nos dados para o atributo Ca, alta para o K e muito alta para o Mg e P, em 2012 e 2013. Na área B os valores de CV indicaram média variabilidade nos dados também para o atributo Ca, alta para Mg e K em 2013, e muito alta para P e K em 2012.

A variabilidade espacial dos atributos do solo é consequência de complexas interações dos fatores e processos pedogenéticos. Além disso o tipo de manejo do solo e da cultura, podem causar variabilidade adicional (CORÁ, 1997). A adubação foi apontada como a causa dos elevados valores do CV para P e Mg em estudo desenvolvido por Souza et al. (2004).

Com exceção dos atributos Ca da área A em 2013 e o Mg da área B em 2012, que apresentaram distribuição assimétrica negativa, os atributos apresentaram distribuição assimétrica positiva, isto é, com a maioria dos valores concentrados abaixo da média.

Em relação ao coeficiente de curtose, parâmetro que indica o achatamento da distribuição de frequência dos dados, observa-se que na área A apresentaram distribuição platicúrtica (curva de distribuição alongada) os atributos Mg, P e F nos dois anos em estudo, e com distribuição leptocúrtica (curva de distribuição aguda) o atributo Ca, nos respectivos anos. Na área B o atributo P apresenta distribuição platicúrtica nos dois anos e os demais atributos apresentam distribuição leptocúrtica.

Os atributos apresentaram normalidade, com exceção dos atributos Ca, e K. Em outras palavras, os atributos que apresentam distribuição normal, valores de medidas de tendência central (média e mediana) próximos, indicam que os dados apresentam ou se aproximam da distribuição normal. Segundo Cambardella et al. (1994), a proximidade entre média e

mediana, pode ser um indicativo de que as medidas de tendência central não são influenciadas por valores atípicos na distribuição e é um indicativo de possíveis ajustes dos dados destas variáveis à distribuição normal.

Tabela - Estatística exploratória dos macronutrientes do solo das áreas A e B para os anos de 2012 e 2013

Atributo	Ano	Área	Min	Média	Med.	Max	CV%	Assimetria	Curtose	N*
Ca	2012	A	4,2	6,3	6,2	8,7	16,9(m)	0,39(a)	-0,38(L)	
		B	3,0	5,7	5,6	7,9	17,5(m)	0,10(a)	0,04(L)	
	2013	A	3,0	5,7	5,9	8,0	19,6(m)	-0,53(b)	0,05(L)	
		B	3,8	6,0	6,0	7,8	14,1(m)	0,01(a)	-0,23(L)	
Mg	2012	A	0,3	2,4	2,2	12,1	71,7(ma)	4,89(a)	28,58(P)	**
		B	1,2	2,2	2,3	3,1	21,9(a)	-0,11(b)	-0,91(L)	**
	2013	A	0,6	1,8	1,6	4,0	39,9(ma)	1,01(a)	1,13(P)	**
		B	0,7	2,0	2,0	3,4	29,5(a)	0,12(a)	-0,25(L)	
P	2012	A	3,1	13,1	11,7	40,9	62,3(ma)	1,35(a)	2,22(P)	**
		B	4,2	15,0	13,1	43,3	59,0(ma)	1,25(a)	1,06(P)	**
	2013	A	2,0	10,8	9,6	32,3	58,8(ma)	1,57(a)	3,12(P)	**
		B	3,3	13,4	11,8	31,2	47,6(ma)	1,01(a)	0,59(P)	**
K	2012	A	0,2	0,7	0,6	1,1	28,0(a)	0,137(a)	0,676(P)	
		B	0,1	0,6	0,5	1,3	47,9(ma)	0,60(a)	0,08(L)	
	2013	A	0,3	0,6	0,6	1,1	24,9(a)	0,38(a)	1,13(P)	
		B	0,3	0,6	0,6	0,9	22,3(a)	0,12(a)	-0,66(L)	

Nota: Coeficiente de variação: baixo (b); médio (m); alto (a); muito alto (ma); Assimétrica positiva (a); • Assimétrica negativa (b); simétrica(s); Curtose: Leptocúrtica (L); Mesocúrtica (M); Platicúrtica (P); ** Seguem uma distribuição normal com base no teste de normalidade de Shapiro Wilk.

Os níveis dos teores dos macronutrientes do solo (Tabela 2) foram interpretados de acordo com Costa e Oliveira (2001). Verifica-se que na maioria dos pontos amostrais em ambos os anos os atributos Ca e Mg foram classificados como alto, o que revela que estes atributos não limitaram o desenvolvimento da cultura. Os níveis dos atributos P e K no solo em ambas as áreas, em pelo menos 70% dos pontos amostrais estão classificados como alto ou muito alto, valores suficientes para a produção da soja. Em casos de deficiência de P ($P < 8.0 \text{ Mg/dm}^3$) é recomendada a fosfatagem.

A absorção de potássio depende da disponibilidade de Ca e de Mg no solo (COAMO; COODETEC, 2001 e SALVADOR et al., 2011). Pode-se verificar que o solo apresentou alta disponibilidade de K, pois as análises de Ca mostram valores altos, tanto quanto as análises de Mg, sendo assim, é possível que a planta absorva K ($K \geq 0.31 \text{ K (cmolc dm}^{-3})$).

Tabela - Níveis de interpretação dos macronutrientes do solo das áreas A e B para os anos de 2012 e 2013

Atributos	Ano	Área	Classificação – Níveis				
			Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Ca (cmolc/dm ⁻³)				≤2,0	2,1-4,0	>4,0	
Ca encontrado %	2012	A		0,0%	0,0%	100%	
		B		0,0%	2,7%	97,2%	
	2013	A		0,0%	9,7%	90,2%	
		B		0,0%	1,3%	98,6%	
Mg (Mg/dm ²)				<0,5	0,6-1,0	>1,0	
Mg encontrado %	2012	A		2,3%	2,3%	95,2%	
		B		0,0%	0,0%	100%	
	2013	A		0,0%	7,3%	92,6%	
		B		0,0%	4,1%	95,8%	
P (Mg/dm ⁻³)				≤ 3,0	3,1 -6,0	6,1 -9,0	> 9,0
P encontrado %	2012	A	0,0%	16,6%	11,9%	23,8%	47,6%
		B	0,0%	5,4%	17,8%	23,2%	53,4%
	2013	A	2,4%	12,1%	19,5	39,0%	26,8%
		B	0,0%	4,1%	13,6%	39,7%	42,4%
K (cmolc/ dm ⁻³)			≤ 0,10	0,11 -0,20	0,21 - 0,30	> 0,30	≤ 0,10
K encontrado %	2012	A	0,0%	2,3%	0,0%	45,2%	52,3%
		B	0,0%	5,4%	10,9%	45,2%	38,3%
	2013	A	0,0%	0,0%	2,4%	39,0%	58,5%
		B	0,0%	0,0%	0,0%	54,7%	45,2%

Fonte: Fertilidade do Solo e Nutrição de plantas (Costa e Oliveira, 2001).

Os parâmetros estimados dos semivariogramas ajustados aos modelos teóricos que melhor descreveram o comportamento da variabilidade espacial dos atributos estudados estão apresentados na Tabela 3. Assim verifica-se que o alcance (a), raio no qual verificou-se dependência espacial dos dados, variou de 54 até 716 m.

Observa-se que o modelo Gaussiano foi ajustado para Ca (2012 A; 2012 B; 2013 B), Mg (2012 A e 2013 B) e K (2012 e 2013 para área A); Esférico para Ca (2013 A), Mg (2012 B e 2013 A), P (2012 A); e Exponencial para os demais conjuntos de dados. Verifica-se dependência espacial classificada como fraca para Ca (2012 A, 2012B e 2013 B), Mg (2012 B e 2013 A) e K (2012 A) e os demais atributos foram classificados com dependência espacial Moderada.

Tabela -Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para os macronutrientes do solo nas áreas experimentais para os anos de 2012 e 2013

Atributo	Ano	Área	C0	C0+C1	C1	a(m)	Modelo	IDE (%)
Ca cmolc/dm ³	2012	A	1,10	1,12	0,02	122	Gaussiano	97,6 (Fa)
		B	0,83	1,02	0,18	184	Gaussiano	81,4 (Fa)
	2013	A	0,68	1,27	0,59	54	Esférico	53,6 (Mo)
		B	0,59	0,72	0,13	226	Gaussiano	81,8 (Fa)
Mg Mg/dm ³	2012	A	1,47	4,59	3,11	379	Gaussiano	32,1 (Mo)
		B	0,23	0,24	0,001	110	Esférico	99,4 (Fa)
	2013	A	0,42	0,51	0,08	248	Esférico	83,6 (Fa)
		B	0,27	0,43	0,15	716	Gaussiano	64,3 (Mo)
P Mg/dm ³	2012	A	36,95	87,73	50,78	379	Esférico	42,1 (Mo)
		B	50,75	82,08	31,33	188	Exponencial	61,8 (Mo)
	2013	A	28,95	44,32	15,37	352	Exponencial	65,3 (Mo)
		B	15,43	50,61	35,17	716	Exponencial	30,5 (Mo)
K cmolc /dm ^{-3*}	2012	A	0,03	0,038	0,005	379	Gaussiano	84,3 (Fa)
		B	0,05	0,08	0,03	716	Exponencial	62,8 (Mo)
	2013	A	0,01	0,02	0,001	352	Gaussiano	69,4 (Mo)
		B	0,009	0,018	0,009	116	Exponencial	50,2 (Mo)

Nota: C0 = Efeito Pepita; C1 Sill; C0+C1 = Patamar; a = Alcance; IDE = Índice de dependência espacial; Fa = Fraca; Mo = Moderada; Fo = Forte.

Por influência do interpolador krigagem, que possui a característica de reduzir os valores de máximo e aumentar os valores de mínimo (BAZZI, 2010 e COELHO, 2008), na avaliação dos mapas temáticos, valores classificados como baixos ou médios para Mg e Ca não foram apresentados. Este fato também ocorreu para o P e o K, que apesar de apresentarem classificação muito baixa e muito alta, na interpretação obtida por meio da classificação pontual, não foram apresentados nos mapas gerados. Neste sentido, problemas pontuais, normalmente que ocorrem em áreas menores, podem ser omitidos quando se avalia a fertilidade do solo somente fazendo uso de mapas temáticos. Verificou-se menor mobilidade do K considerando a diferença entre os mapas gerados entre os anos (Figura 6).

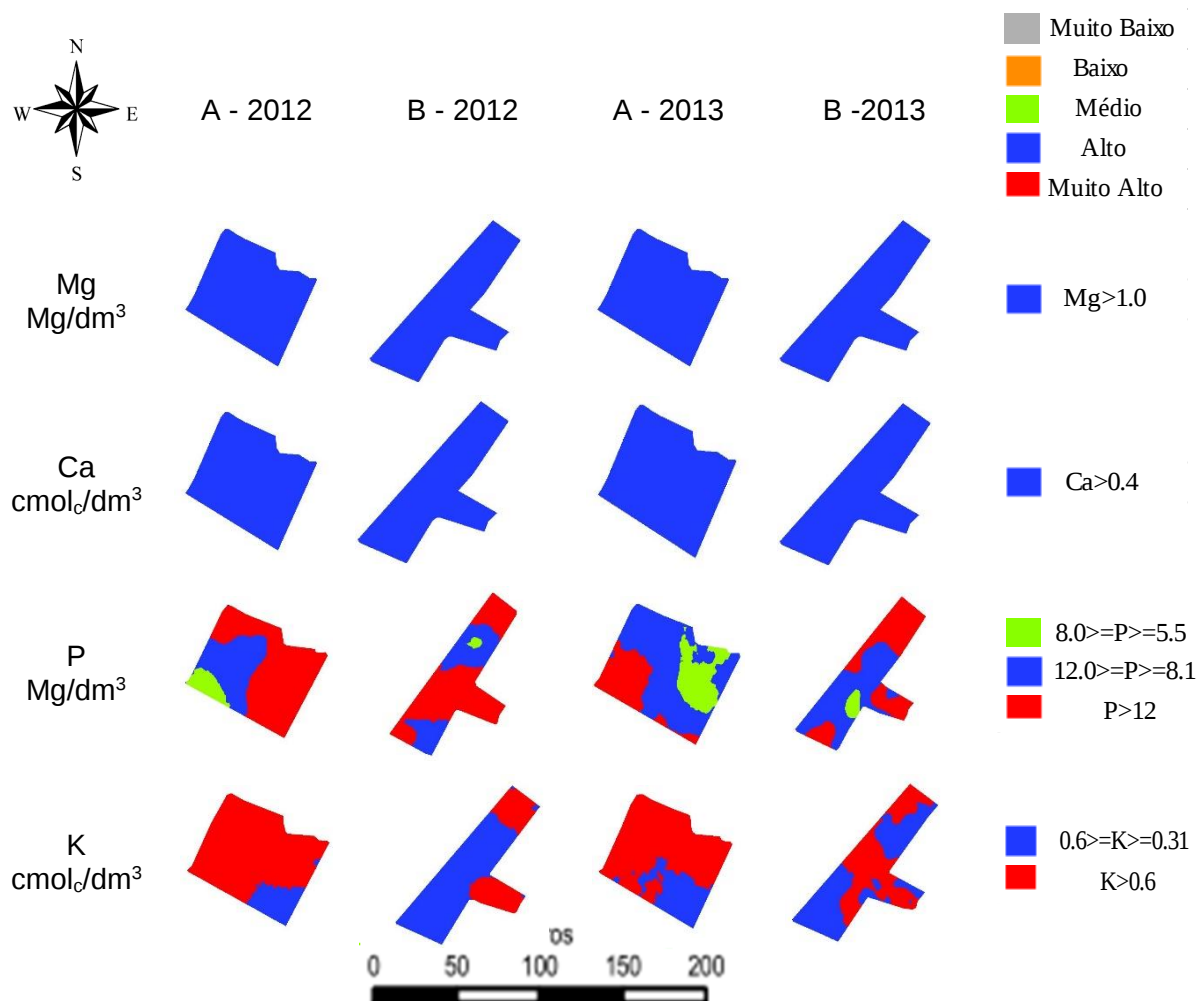


Figura - Mapas temáticos dos macronutrientes.

Em relação aos micronutrientes do solo (Tabela 4), observa-se que a variabilidade dos atributos variaram de média a muito alta, de 10,5% a 52,9 % na área A e 11,1% a 69% na área B. Os valores dos CV indicam variabilidade média para Mn, variabilidade alta para Cu e Fe (2013 B, ano e área) e variabilidade muito alta para Zn e Fe (2012 AB e 2013 A).

No que se refere a medida de forma, os atributos Fe, Zn e Cu (2012 B) foram classificados com distribuição assimétrica positiva e Mn e Cu (2012 e 2013 A) foram classificados com distribuição assimétrica negativa.

O atributo Cu exceto em (2012 A, que apresentou distribuição platicúrtica) e Zn (2013 A) foram classificados com distribuição leptocúrtica. Fe, Mg e Zn (2012 AB, 2013 B) foram classificados com distribuição platicúrtica (curva de distribuição alongada).

Os atributos que apresentaram normalidade nos dados pelos testes de Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de significância foram: Cu (2012 B e 2013 B); Fe (2013 B) e Zn (2013 B).

Tabela - Estatística exploratória dos micronutrientes das áreas A e B para os anos de 2012 e 2013

Atributo	Ano	Área	Min	Média	Med.	Max	CV	As	Cur	N*
Cu Mg/dm ³	2012	A	3,49	3,49	11,05	14,35	25,9(a)	-0,7(b)	-0,34(L)	**
		B	5,64	5,64	8,77	13,85	20,3(a)	0,39(a)	-0,60(L)	
	2013	A	2,73	2,73	7,49	10,68	21,6(a)	-0,8(b)	2,10(P)	**
		B	4,01	4,01	7,15	11,02	20,0(a)	0,13(a)	0,07(L)	
Fe g/Kg	2012	A	21,11	53,20	48,63	122,67	42,7(ma)	1,24(a)	1,64(P)	**
		B	13,22	33,47	29,86	214,29	67,9(ma)	7,14(a)	57,13(P)	**
	2013	A	22,60	35,58	32,37	90,11	36,5(ma)	2,21(a)	7,18(P)	**
		B	13,59	23,97	22,88	47,69	25,5(a)	0,94(a)	1,90(P)	
Mn Mg/Kg ⁻¹	2012	A	91,38	191,70	198,02	213,63	14,6(m)	-2,9(b)	8,06(P)	**
		B	104,07	179,75	182,77	233,58	11,1(m)	-1,2(b)	3,19(P)	**
	2013	A	138,96	201,06	207,93	231,18	10,5(m)	-1,4(b)	1,71(P)	**
		B	0,00	207,41	211,04	240,76	13,5(m)	-5,7(b)	41,61(P)	**
Zn Mg/dm ³	2012	A	1,31	2,91	2,64	7,93	38,8(ma)	2,30(a)	8,64(P)	**
		B	0,40	2,15	2,00	9,02	65,3(ma)	3,14(a)	12,62(P)	**
	2013	A	0,18	2,05	2,07	4,40	52,9(ma)	0,23(a)	-0,90(L)	**
		B	0,37	2,35	2,03	13,39	69,0(ma)	4,54(a)	29,48(P)	

Nota: Coeficiente de variação: baixo (b); médio (m); alto (a); muito alto (ma); Assimétrica positiva (a); • Assimétrica negativa (b); simétrica(s); Curtose: Leptocúrtica (L); Mesocúrtica (M); Platicúrtica (P); ** não seguem uma distribuição normal com base no teste de normalidade de Shapiro Wilk.

Na interpretação dos micronutrientes (Tabela 5) segundo Costa e Oliveira (2001) verifica-se que Cu, apresenta-se como alto para ambos os anos e áreas. Já o Fe, pode ser classificado como médio em praticamente toda a área, exceto em (2012, A) que apresenta-se como alto.

A disponibilidade de Mn no solo apresenta-se em 100% como alto, o indica que este elemento se encontra em quantidade suficiente para cultivo da soja. O Zn na maior parte da área apresenta-se como baixo.

Tabela - Níveis de interpretação dos micronutrientes do solo

Atributos	Ano	Área	Classificação - Níveis				
			Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Cu (Mg/dm³)				<0,8	0,8 - 1,7	>1,7	
Cu encontrado %	2012	A				100%	
		B				100%	
	2013	A				100%	
		B				100%	
Fe (g/Kg)				<15,0	15,0 – 40,0	>40	
Fe encontrado %	2012	A			31,0%	69,0%	
		B	1,7%		96,4	1,8%	
	2013	A	0,0%		73,7%	29,3%	
		B	4,1%		94,5%	1,4%	
Mn (Mg/Kg ⁻¹)				<15,0	15,0 – 30,0	>30	
Mn encontrado %	2012	A				100%	
		B				100%	
	2013	A				100%	
		B				100%	
Zn (Mg/dm³)				<30,	3,0 – 7,0	>7,0	
Zn encontrado %	2012	A		60,9%	39,0%	2,4%	
		B		87,6%	9,6%	2,7%	
	2013	A		80,4%	19,5		
		B		79,4%	17,8%	2,7%	

Fonte: Fertilidade do Solo e Nutrição de plantas (Costa e Oliveira, 2001).

Quanto aos parâmetros dos semivariogramas (Tabela 6), verifica-se que o maior alcance é do atributo Fe (2013, B), 716 m e o menor do atributo Mn (2013, A), 54 m. Para Cu (2012 A, 2013 B) e Mn (2012 B) o modelo que melhor se ajustou foi o gaussiano, assim como o esférico para Fe (2013 A e 2013 B), Mn (2013 A) e Zn (2013 B) e exponencial para os demais.

Na análise de dependência espacial dos micronutrientes verifica-se que o IDE foi considerado forte apenas para Mn (2012 A) e para Zn (2013 A), moderado para Cu (2012 B, 2013 A e 2013 B), Fe (2013 A), Mn (2012 B, 2013 A e 2013 B) e fraco para os demais atributos, com efeito pepita puro (IDE=100%) em Mn (2013 B) e Zn (2012 A).

Tabela - Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para os micronutrientes do solo nas áreas experimentais para os anos de 2012 e 2013

Atributo	Ano	Área	C0	C0+C1	C1	a (m)	Modelo	IDE
Cu Mg/dm ³	2012	A	5,619	7,160	1,540	58	Gaussiano	78,4% (Fa)
		B	2,451	3,824	1,372	194	Gaussiano	64,1% (Mo)
	2013	A	1,726	2,683	0,9565	54	Exponencial	64,3%(Mo)
		B	1,587	2,483	0,8953	635	Gaussiano	63,9% (Mo)
Fe g/Kg	2012	A	412,0	519,0	107,0	61	Exponencial	79,3% (Fa)
		B	458,7	562,4	103,7	716	Exponencial	81,5% (Fa)
	2013	A	110,7	206,7	95,97	352	Esférico	53,5% (Mo)
		B	32,72	42,30	9,588	716	Esférico	77,3% (Fa)
Mn	2012	A	69,2	873,3	804,1	159	Exponencial	7,9% (Fo)
		B	237,1	565,1	328,0	716	Gaussiano	41,9% (Mo)
	2013	A	242,4	446,5	204,1	54	Esférico	54,2% (Mo)
		B	812,5	812,5	0,0	686	Exponencial	100,0% (Fa)
Zn Mg/dm ³	2012	A	1,277	1,277	0,000	363	Exponencial	100,0% (Fa)
		B	1,870	1,978	0,107	484	Esférico	94,5% (Fa)
	2013	A	0,000	1,413	1,413	118	Exponencial	0,0% (Fo)
		B	1,180	3,624	2,442	334	Exponencial	32,5% (Mo)

Nota; C0 = Efeito Pepita; C1 Sill; C0+C1 = Patamar; a = Alcance; IDE = Índice de dependência espacial; Fa = Fraca; Moderada = Mo; Forte (Fo).

Ao analisar os mapas temáticos dos micronutrientes (Figura 7) percebe-se que estes foram classificados em uma única classe (alto ou baixo) com certa estabilidade em função dos anos. Da mesma forma que ocorreu com os macronutrientes, os interpoladores suavizaram os dados, o que impossibilita interpretações de pequenas deficiências nestes nutrientes.

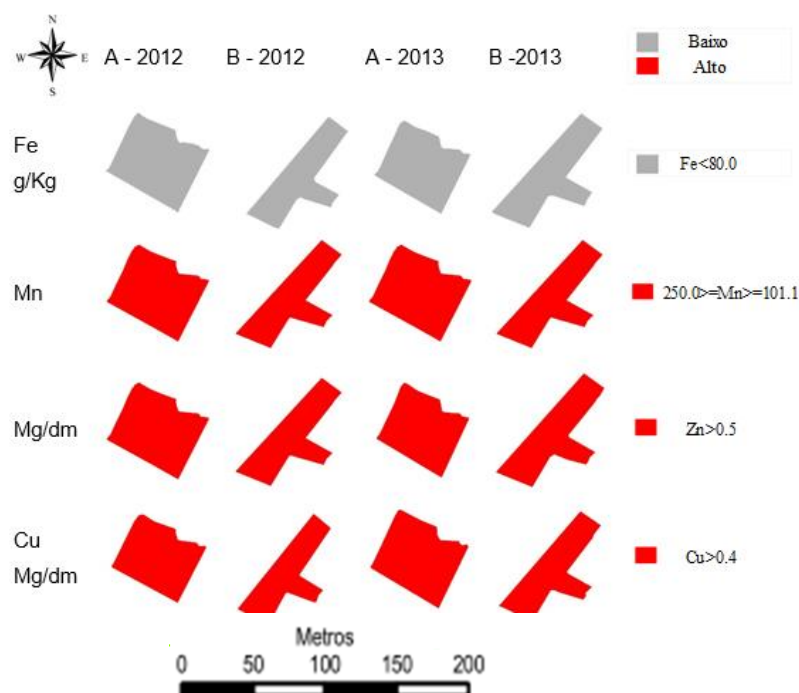


Figura - Mapas temáticos dos micronutrientes no solo para os anos 2012 e 2013

O SMP é um método para determinação da necessidade de calagem, cujas iniciais são nomes dos pesquisadores que desenvolveram tal método (Shoemaker, Mc Lean e Pratt). Este índice indica, a quantidade de calcário necessário para elevar o pH do solo a valores de 5,5 ou 6,0 ou 6,5 (SHOEMAKER, et al., 1961).

Observa-se que o pH (Tabela 7) e o índice SMP apresentam baixa variabilidade. Segundo Santo et al. (2001), o pH do solo geralmente apresenta CV baixo, pois apresenta escala logarítmica, assim, grandes variações nas concentrações hidrogeniônicas na solução do solo resultam em pequenas variações no valor do pH.

A soma de bases também apresentou baixa variabilidade. Resultados similares foram encontrados por Bazzi (2011) que também trabalhou em um Latossolo Vermelho Distroférico típico com elevados teores de argila, com cultivo de soja. Os demais atributos (Al e Sat. Al) apresentam CV muito alto, o que indica heterogeneidade nos dados analisados.

Ao analisar as medidas de forma, observa-se que os atributos MO (2012 B) e Al, pH exceto (2013, B), H+Al (2013, A B), SB (2012, A B), SMP (2012, A B) e Sat. Al foram classificados com distribuição assimétrica positiva. Os demais demonstram distribuição assimétrica negativa. Em relação ao coeficiente de curtose, os atributos MO (2012 A), pH exceto em (2012, A), H+Al (2012, B e 2013, A), SB (2012, B) e SMB (2013, A B) apresentaram distribuição leptocúrtica e os demais platicúrtica. Não apresentaram normalidade nos dados a 5% de significância os atributos pelos testes de Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov os atributos Al, H+AL, SMP (2012, A B) e Sat. Al.

Tabela - Estatística exploratória dos atributos químicos do solo das áreas A e B para os anos de 2012 e 2013

Atributo	Ano	Área	Min	Média	Med.	Max	CV	As	Cur	N*
MO	2012	A	21,44	31,40	32,17	41,55	14,74(m)	-0,1(b)	-0,53(L)	
		B	2,68	22,25	21,44	68,35	46,48(ma)	1,20(a)	4,41(P)	
	2013	A	16,08	35,31	36,19	48,25	20,21(a)	-0,7(b)	0,33(P)	
		B	16,08	39,11	40,21	53,61	21,05(a)	-0,6(b)	0,49(P)	
Al	2012	A	0,00	0,03	0,00	0,21	187,3(ma)	2,01(a)	3,41(P)	**
		B	0,00	0,06	0,02	0,75	180,9(ma)	3,66(a)	17,82(P)	**
	2013	A	0,00	0,02	0,00	0,14	178,5(ma)	1,99(a)	3,76(P)	**
		B	0,00	0,01	0,00	0,15	246,9(ma)	2,82(a)	8,37(P)	**
pH	2012	A	4,50	5,07	5,1	6,10	6,42(b)	0,49(a)	1,04(P)	
		B	4,10	4,92	4,90	5,70	7,05(b)	0,03(a)	-0,77(L)	
	2013	A	4,34	5,13	5,10	6,00	7,28(b)	0,16(a)	-0,22(L)	
		B	4,40	5,26	5,30	6,20	8,06(b)	-0,1(b)	-0,50(L)	
H+Al ³	2012	A	2,95	4,26	4,28	5,35	12,27(m)	-0,2(b)	0,30(P)	**
		B	2,95	6,09	6,21	9,00	24,02(a)	-0,5(b)	-0,41(L)	**
	2013	A	2,54	3,48	3,42	4,61	16,16(m)	0,41(a)	-0,62(L)	**
		B	2,07	3,36	3,42	4,96	16,38(m)	0,33(a)	0,19(P)	**
SB	2012	A	5,79	9,04	9,06	13,66	17,80(m)	0,43(a)	0,44(P)	
		B	4,50	8,47	8,15	11,65	17,72(m)	0,02(a)	-0,26(L)	
	2013	A	4,53	8,11	7,96	11,98	18,95(m)	-0,1(b)	0,13(P)	
		B	5,10	8,57	8,61	10,77	13,54(m)	-0,3(b)	0,17(P)	
SMP	2012	A	5,90	6,22	6,2	6,7	2,73(b)	0,58(a)	0,84(P)	**
		B	5,20	5,77	5,70	6,70	6,31(b)	0,98(a)	0,09(P)	**
	2013	A	6,10	6,50	6,50	6,90	3,32(b)	-0,1(b)	-0,84(L)	
		B	6,00	6,53	6,50	7,00	3,29(b)	-0,2(b)	-0,29(L)	
Sat. Al%	2012	A	0,00	0,42	0,00	3,5	197,65(ma)	2,35(a)	5,53(P)	**
		B	0,00	0,94	0,27	14,29	215,73(ma)	4,73(a)	27,61(P)	**
	2013	A	0,00	0,29	0,00	2,17	184,44(ma)	2,04(a)	3,65(P)	**
		B	0,00	0,17	0,00	2,86	268,75(ma)	3,72(a)	16,66(P)	**

Nota: Coeficiente de variação: baixo (b); médio (m); alto (a); muito alto (ma); Assimétrica positiva (a); • Assimétrica negativa (b); simétrica(s); Curtose: Leptocúrtica (L); Mesocúrtica (M); Platicúrtica (P); ** não seguem uma distribuição normal com base no teste de normalidade de Shapiro Wilk.

A matéria orgânica encontrada na área B (2012/13) variou de muito baixo para muito alta, com a maior parte dos pontos amostrais classificados como baixo. Porém no ano seguinte houve melhora na disponibilidade deste atributo, com a maioria dos pontos classificados como alto (Tabela 8).

O teor de Al encontrado no solo, não é um fator preocupante, visto que apenas acima de 1,0 mg dm⁻³ é considerado elevado e prejudicial ao crescimento das plantas.

A acidez do solo é determinada pelo nível de pH (potencial hidrogeniônicas), que indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma solução aquosa. Segundo COSTA e OLIVEIRA (2001) a faixa de pH ideal dos solos para a agricultura é entre 5,5 e 6,5. Isto porque é nesta

faixa que os nutrientes ficam mais disponíveis às plantas, ou seja, na solução do solo.

Tabela - Níveis de interpretação dos atributos químicos do solo

Atributos	Ano	Área	Classificação – Níveis				
			Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
MO			<14,0	15,0 – 25,0	26,0 – 35,0	36,0 – 60,0	>61,0
MO encontrado %	2012	A		16,66%	57,14%	21,53%	
		B	24,65%	41,09%	27,39%	6,84%	1,36%
	2013	A		14,63%	36,58%	51,21%	
		B		5,47	26,02	69,86	
Al (mg dm ⁻³)			<0,10	0,11 – 0,50,	0,51 – 1,0	1,1 – 2,0	>2,1
Al encontrado %	2012	A	85,71%	14,28%			
		B	78,08	20,54	1,36		
	2013	A	92,85%	4,76%			
		B	97,26%	2,73%			
H+Al ³			<1,0	1,1-2,5	2,6-5,0	5,1-9,0	>9,0
H+Al ³ encontrado	2012	A			95,23%	4,70%	
		B			24,65%	75,34%	
	2013	A			100%		
		B		4,1%	95,89%		
Sat. Al			<1,0	1,1-10,0	10,1-20,0	>20,01	
Sat. Al encontrado	2012	A	80.95%	19.05%			
		B	75.34%	23.28%	1.36%		
	2013	A	87.80%	12.19%			
		B	97.26%	2.73%			
Acidez (pH)			<4,30	4,31 -5,00	5,01 – 5,50	5,51 – 6,00	>6,01
Acidez encontrado	2012	A		83,3%	16,6%		
		B	1,37%	84,93%	16,70%		
	2013	A		70,73%	29,26%		
		B		58,90%	41,09%		
SMP				<5,3		>5,3	
SMP encontrado	2012	A		100%			
		B		95.89%		4.10	
	2013	A		100%			
		B		100%			
SB			<0.60	0,61-1,80	1,81- 3.60	3,61-6.0>	>6.1
Soma de bases encontrado	2012	A				2.38%	97.61%
		B				4.1%	95.89%
	2013	A				2.73%	97.26%
		B				9.75%	90.24%

Fonte: Fertilidade do Solo e Nutrição de plantas (Costa e Oliveira, 2001).

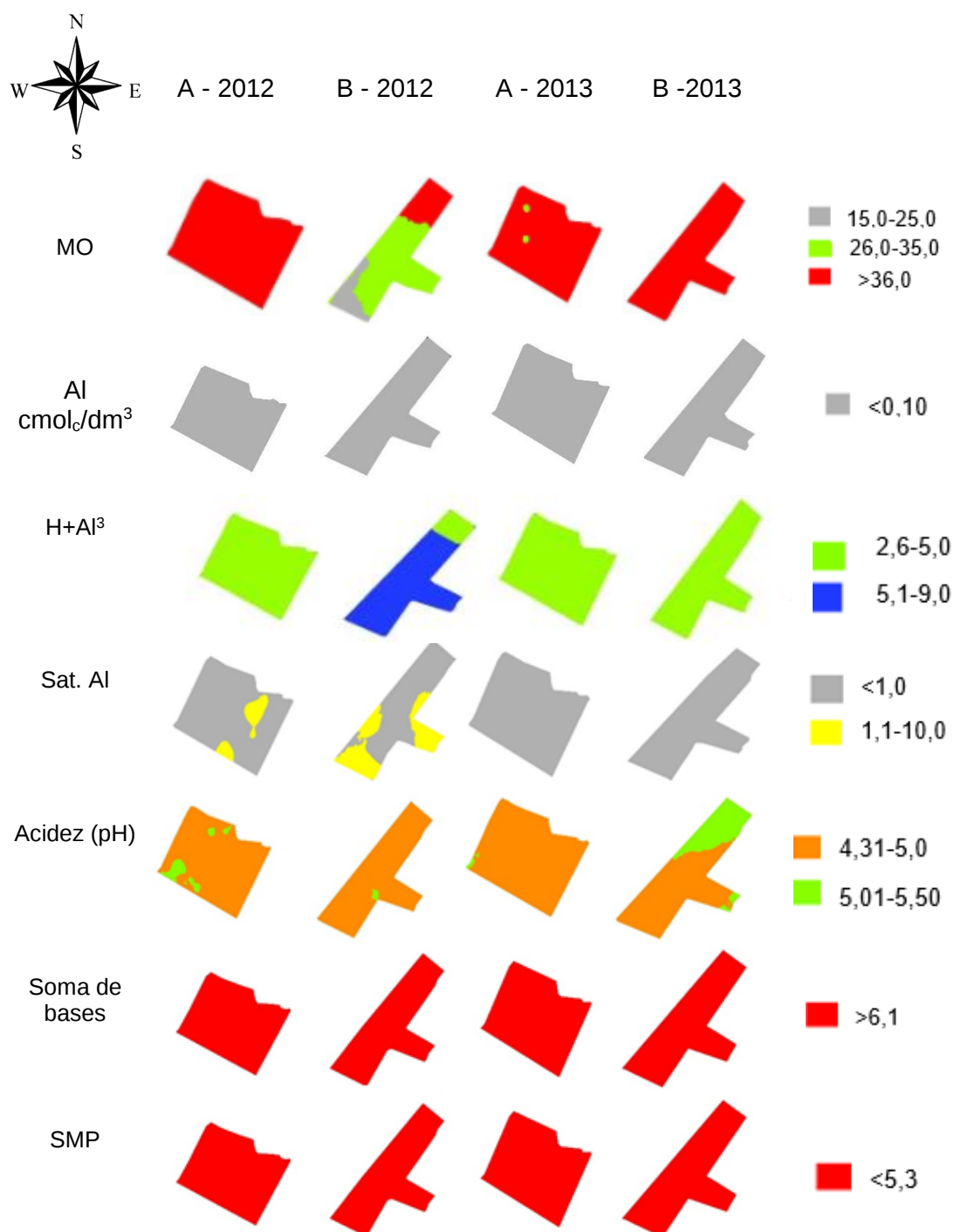


Figura - Mapas temáticos dos atributos químicos do solo para os anos 2012 e 2013

Na análise de dependência espacial (Tabela 9), foram ajustados os modelos gaussiano para MO (2012 A), Al (área B), SB (2013 B) e Sat.Al (2012 B.), esférico para MO (2012 B), pH (2012 A), H+Al (2012 B), SB (2012 B e 2013 A) e SMP (2012 B). O modelo exponencial foi ajustado para os demais atributos.

Verifica-se forte dependência espacial para MO (2013 A), pH (2012 A), H+Al (2012 B),

SMP (2012 B) e Sat.AI (2012 A). Moderada para MO (2012 B), AI, pH (B), H+AI (2013 B), SB (2013 AB), SMP (2013 B) e Sat. AI (2012 B) e (2013 AB). Os demais atributos apresentam dependência espacial fraca com efeito pepita em MO (2013 B), pH (2013 A), H+AI (2013 A), SB (2012 A) e SMP (2013 A).

O maior alcance corresponde ao atributo H+AI (2012, B) 786 m e o menor ao atributo pH (2012, A) 40 m.

Tabela - Estatística exploratória e dependência espacial dos micronutrientes do solo nas áreas experimentais para os anos de 2012 e 2013

Atributo	Ano	Área	C0	C0+C1	C1	a(m)	Modelo	IDE
MO	2012	A	19,024	24,451	5,4272	379	Gaussiano	77,8% (Fa)
		B	52,401	164,101	111,7	716	Esférico	31,9% (M)
	2013	A	0,000	56,646	56,646	91	Exponencial	0,0% (Fo)
		B	68,271	68,271	0,000	-	efeito pepita puro	100,0% (Fa)
AI	2012	A	0,001	0,003	0,002	88	Exponencial	28,2% (M)
		B	0,008	0,016	0,008	427	Gaussiano	54,6% (M)
	2013	A	0,001	0,001	0,000	352	Exponencial	68,3% (M)
		B	0,001	0,001	0,001	677	Gaussiano	48,9% (M)
pH	2012	A	0,000	0,108	0,108	40	Esférico	0,0% (Fo)
		B	0,048	0,120	0,072	73	Exponencial	39,9% (M)
	2013	A	140	140,00	0,000	-	efeito pepita puro	100,0% (Fa)
		B	0,128	0,206	0,078	716	Exponencial	62,2% (M)
H+AI ³	2012	A	0,223	0,296	0,074	786	Exponencial	75,2% (Fa)
		B	0,645	3,223	2,578	716	Esférico	20,0% (Fo)
	2013	A	0,316	0,316	0,000	-	efeito pepita puro	100,0% (Fa)
		B	0,202	0,352	0,150	716	Exponencial	57,4% (M)
Soma de Bases	2012	A	80,816	80,816	0,000	-	efeito pepita puro	100,0% (Fa)
		B	2,060	2,291	0,231	336	Esférico	82,9% (Fa)
	2013	A	1,388	2,376	0,988	54	Esférico	58,4% (M)
		B	0,977	1,404	0,427	258	Gaussiano	69,5% (M)
SMP	2012	A	0,023	0,031	0,008	379	Exponencial	73,3% (M)
		B	0,034	0,201	0,168	716	Esférico	16,7% (Fo)
	2013	A	0,047	0,047	0,000	-	efeito pepita puro	100,0% (Fa)
		B	0,026	0,048	0,022	257	Exponencial	53,9% (M)
Sat. AI%	2012	A	0,129	0,757	0,628	114	Exponencial	17,0% (Fo)
		B	2,357	5,124	2,767	448	Gaussiano	46,0% (M)
	2013	A	0,237	0,316	0,079	352	Exponencial	75,0% (M)
		B	0,116	0,317	0,202	258	Gaussiano	36,4% (M)

Nota: C0 = Efeito Pepita; C1 Sill; C0+C1 = Patamar; a = Alcance; IDE = Índice de dependência espacial; Fa = Fraca; Moderada = Mo; Forte (Fo).

Quanto à textura do solo (Tabela 10) observa-se existência de variabilidade média a alta nos teores de areia, argila e silte dentro das áreas experimentais. O mesmo ocorreu em estudos feitos por Souza et al. (2003); Souza et al. (2004) e Konopatzki (2011) que também

observaram a existência de variabilidade destes atributos em áreas consideradas homogêneas, em uma única classe de solo.

Tabela - Estatística exploratória da textura do solo nas áreas experimentais ano de 2012

Atributo	Ano	Área	Min	Média	Med.	Max	CV%	Assimetria	Curtose	N**
Areia	2012	A	0,0	3,2	3,1	9,0	67,4(ma)	0,53(a)	-0,33(L)	**
		B	0,4	2,0	1,5	23,5	132,8(ma)	7,3(a)	58,9(P)	
Argila	2012	A	37,6	69,5	70,9	79,3	11,4(m)	-1,9 (b)	5,4(P)	**
		B	61,1	76,2	76,3	84,1	4,5(b)	-1,6(b)	6,9(P)	
Silte	2012	A	15,8	26,9	24,2	62,2	33,3(ma)	1,7(a)	4,8(P)	**
		B	2,7	21,7	21,8	37,8	18,1(m)	-0,1(b)	12,1(P)	

Nota: Coeficiente de variação: baixo (b); médio (m); alto (a); muito alto (ma); Assimétrica positiva (a); • Assimétrica negativa (b); simétrica(s); Curtose: Leptocúrtica (L); Mesocúrtica (M); Platicúrtica (P); ** Seguem uma distribuição normal com base no teste de normalidade de Shapirro Wilk.

De acordo com a classificação textural do solo de (LEMOS; SANTOS, 1984) o solo foi classificado como muito argiloso nas duas áreas experimentais, com média 3,2% de areia, 69,9% de argila e 26,9% de silte na área A. Na área B, os teores apresentam-se com 2,0% de areia, 76,2% de argila e 21,7% de silte (Figura 9).

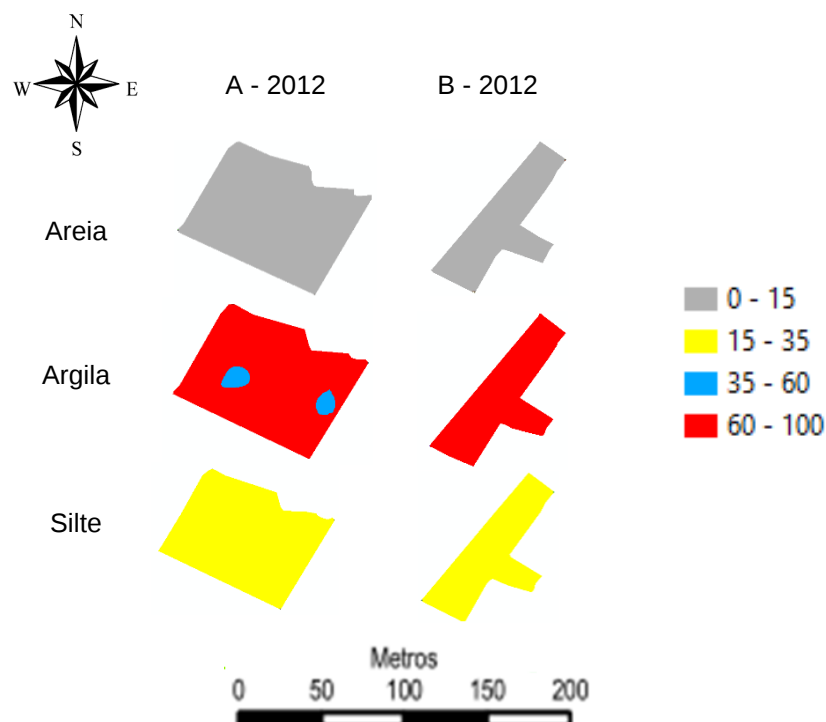


Figura - Mapas temáticos de textura 2012

Quanto a dependência espacial, verifica-se que apenas a argila apresentou IDE considerado forte, com alcance de 363 m na área A e 664 m na área B e como melhor ajustado o gaussiano. Os demais atributos (areia e silte) apresentam IDE fraco, com efeito pepita puro (IDE=100%, Tabela 11).

Tabela - Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para textura do solo nas áreas experimentais para os anos de 2012 e 2013

Atributo	Ano	Área	C0	C0+C1	C1	a(m)	Modelo	IDE
Areia	2012	A	4,826	4,826	0,000	-	efeito pepita puro	100,0% (Fa)
		B	6,706	6,706	0,000	-	efeito pepita puro	100,0% (Fa)
Argila	2012	A	0,000	77,848	77,848	58	Esférico	0,0% (Fo)
		B	10,921	13,036	2,115	525	Gaussiano	83,7% (Fa)
Silte	2012	A	80,816	80,816	0,000	-	efeito pepita puro	100,0% (Fa)
		B	15,062	15,062	0,000	-	efeito pepita puro	100,0% (Fa)

Nota: C0 = Efeito Pepita; C1 Sill; C0+C1 = Patamar; a = Alcance; IDE = Índice de dependência espacial; Fa = Fraca; Moderada = Mo; Forte (Fo).

Segundo CAMBARDELLA et al. (1994), os atributos que apresentam forte dependência espacial são mais influenciados por propriedades intrínsecas do solo, como textura e mineralogia. Por outro lado, exemplos como as aplicações de fertilizantes e o manejo solo apresentam fraca dependência, pois são mais influenciados por fatores externos.

Os resultados da análise descritiva para a produtividade da cultura de soja nas safras 2012/13 e 2013/14 (Tabela 12), apresentou valores de produtividade satisfatórios, com médias 5,08 t ha⁻¹ na área A e 4,81 t ha⁻¹ na área B, acima da média do estado do Paraná (3,34 t ha⁻¹) na safra 2012/13 e 2,95 t ha⁻¹ na safra 2013/14 e também da acima da média nacional safra 2012/13 (2,93 t ha⁻¹) e safra 2013/14 com (2,85 t ha⁻¹). A normalidade climática no período de desenvolvimento da lavoura colaborou para a boa produção. A produção apresentou média variabilidade nos dados, com distribuição normal pelos testes de Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de significância, e apresentou distribuição assimétrica positiva e platicúrtica em (2012/13 A e B) e distribuição assimétrica negativa e Leptocúrtica em (2013/14 A e B).

A proteína da soja da cultivar 202, na área A ano-safra (2012/13) (Tabela 12), variou de 26 % a 41,6 %, com média de 35,7 % e, de acordo com a resposta do CV, apresentou baixa variabilidade nos dados. No ano-safra 2013/14, a proteína da cultivar 202, apresenta-se com variação de 23,5% a 42,1%, média de 33,8% e com média variabilidade nos dados. Na área B, ano-safra 2012/13 a proteína variou de 2,2% a 44,3 %, cuja média foi de 30,6% e apresentou-se com variabilidade muito alta nos dados. Em ano-safra 2013/14, variou de 24,1% a 44,8% média 34,7% e apresentou variabilidade média nos dados. Resultados

semelhantes foram obtidos por Minuzzi et al. (2009) que avaliaram quatro genótipos de soja, entre elas, CD 2012 e obtiveram média de 31% de proteína para essa cultivar.

Os teores de proteína encontrados nos grãos estão bem abaixo da média requerida pelas indústrias esmagadoras. Segundo Pípolo (2002) o farelo de soja exportado pelo Brasil deve apresentar 46% de proteína. Para atingir esse teor e proteína no farelo o grão deve apresentar uma concentração mínima de 40% de proteína no grão. Quando esse valor não é atingido, podem-se utilizar recursos com a retirada do tegumento da soja que apresenta menor concentração de proteína, encarecendo o custo de produção e do produto final no mercado.

Vale ressaltar, que o produtor optou pela antecipação da semeadura (semeada em 17 de setembro de 2012). Albrecht et al. (2008) verificaram, no Oeste do Paraná, que a antecipação da semeadura de 15 novembro para 15 de setembro pode provocar redução na concentração de proteína nos grãos. A antecipação da época de semeadura imprime mudanças nas condições climáticas durante os períodos de desenvolvimento da cultura, inclusive durante o período de enchimento de grãos.

O óleo de soja na área A, ano-safra 2012/13 (Tabela 12) variou de 13,7% a 21,2%, com média de 17,4%. No ano-safra 2013/14, tal percentagem variou de 16,0 a 21,9%, cuja média foi de 17,8%. Já na área B, ano-safra 2012/13, o óleo soja apresenta-se com variação de 5,9 a 19,2%, com média 17,1%, e no ano-safra 2013/14, tal percentagem variou de 15,0% a 20,0% média 16,8%. Tais variações diferem das obtidas por Albrecht et al. (2008), os quais encontraram teores de óleo variando entre 11,3 e 32,4%, em dois anos agrícolas.

Observa-se que teor de óleo, no ano-safra 2012/13, B, apresentou-se com baixa variabilidade, com distribuição assimétrica negativa e platicúrtica. Os demais teores apresentam-se com baixa variabilidade nos dados, comportamento assimétrico positivo e distribuição platicúrtica, exceto no ano-safra 2013/14, que apresentam comportamentos com distribuição leptocúrtica.

Observa-se ainda, que as médias dos teores de óleo soja, também apresentaram-se abaixo da média desejada, porém próximas. Segundo Bonato et al. (2000) o teor de óleo na soja comercial varia de 18% a 20% no grão. Assim a média da área A no ano-safra (2013/14) é a que mais aproxima deste parâmetro (17,8%).

Na análise de dependência espacial da produtividade, proteína e óleo (Tabela 13) a produtividade da área B, no ano-safra 2012/2013 obteve IDE considerado como moderado, com alcance de 252 metros e gaussiano como melhor modelo ajustado. No ano-safra 2013/2014 a produtividade também obteve IDE considerado como moderado, com alcance de 716 m e exponencial como melhor modelo ajustado. A proteína no ano-safra 2012/13, área A, obteve dependência espacial moderada, com alcance de 379 metros e esférico como melhor modelo ajustado.

Tabela - Estatística exploratória para os dados de produtividade, proteína e óleo nas áreas A e B para os anos de 2012 e 2013

Atributo	Ano	Área	Min	Média	Med.	Max	CV%	As	Cur
Produtividade	2012/13	A	2,41	5,07	5,05	6,60	13,4(m)	1,01(a)	4,27(P)
		B	3,63	4,81	4,75	6,69	14,3(m)	0,46(a)	0,27(P)
	2013/14	A	3,66	5,08	5,10	6,80	11,5(m)	-0,02(b)	2,28(P)
		B	3,35	4,67	4,71	5,81	11,1(m)	-0,32(b)	0,37(P)
Proteína	2012/13	A	26,00	35,69	36,09	41,56	7,8(b)	-0,81(b)	2,03(P)
		B**	2,19	30,60	33,64	44,30	32,6(ma)	-1,70(b)	2,14(P)
	2013/14	A	23,52	33,84	34,46	42,11	12,6(m)	-0,42(b)	0,32(P)
		B	24,06	34,74	35,00	44,84	12,5(m)	-0,36(b)	0,07(P)
Óleo	2012/13	A	13,66	17,51	17,42	21,24	8,4(b)	0,42(a)	0,95(P)
		B**	5,90	16,56	17,08	19,16	15,9(m)	-2,88(b)	8,43(P)
	2013/14	A	16,03	17,95	17,80	21,86	6,6(b)	1,11(a)	2,15(P)
		B	15,02	17,00	16,81	20,02	6,7(b)	0,45(a)	-0,22(L)

Nota: Coeficiente de variação: baixo (b); médio (m); alto (a); muito alto (ma); Assimétrica positiva (a); • Assimétrica negativa (b); simétrica(s); Curtose: Leptocúrtica (L); Mesocúrtica (M); Platicúrtica (P); ** Seguem uma distribuição normal com base no teste de normalidade de Shapiro Wilk.

Na área B, ano-safra 2012/13 (Tabela 13) a proteína também obteve dependência espacial moderada com alcance de 716 m e exponencial como melhor modelo ajustado. O óleo também apresenta dependência espacial moderada na safra 2013/2014, área B, com alcance de 127m, e com o exponencial como melhor modelo ajustado. Os demais apresentam IDE considerado fraco, com efeito pepita puro em produtividade (2012/13 e 2013/14, A), proteína (2013/14, B) e óleo (2012/13, B).

Tabela - Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para os micronutrientes do solo nas áreas experimentais para os anos de 2012 e 2013

Atributo	Ano	Área	C0	C0+C1	C1	a(m)	Modelo	IDE
Produtividade	2012/13	A	0,497	0,497	0,000	-	efeito pepita puro	100,0% (Fa)
		B	0,360	0,537	0,177	252	Gaussiano	67,0% (Mo)
	2013/14	A	0,343	0,343	0,000	-	efeito pepita puro	100,0% (Fa)
		B	0,136	0,320	0,184	716	Exponencial	42,6% (Mo)
Proteína	2012/13	A	3,731	10,496	6,766	379	Esférico	35,5% (Mo)
		B	60,600	115,55	54,95	716	Exponencial	52,4% (Mo)
	2013/14	A	15,230	19,671	4,440	182	Gaussiano	77,4% (Fa)
		B	18,995	18,995	0,000	-	efeito pepita puro	100,0% (Fa)
Óleo	2012/13	A	2,161	2,177	0,015	379	Gaussiano	99,3% (Fa)
		B	7,074	7,074	0,000	-	efeito pepita puro	100,0% (Fa)
	2013/14	A	1,107	1,461	0,354	88	Gaussiano	75,8% (Fa)
		B	0,359	1,407	1,049	127	Exponencial	25,5% (Mo)

Nota: C0 = Efeito Pepita; C1 Sill; C0+C1 = Patamar; a = Alcance; IDE = Índice de dependência espacial; Fa = Fraca; Moderada = Mo; Forte (Fo).

A variabilidade espacial no mapa produtividade (2012/13 A) (Figura 10) cor verde, contrasta com a cor azul no mapa proteína (2012/13 A). Essa inversão de cores demonstra uma correlação inversa, ou seja, onde a produtividade foi menor, houve uma concentração maior no teor de proteína. Essa correlação foi confirmada pela correlação espacial (BONHAM, REICH e LEADER, 1995)

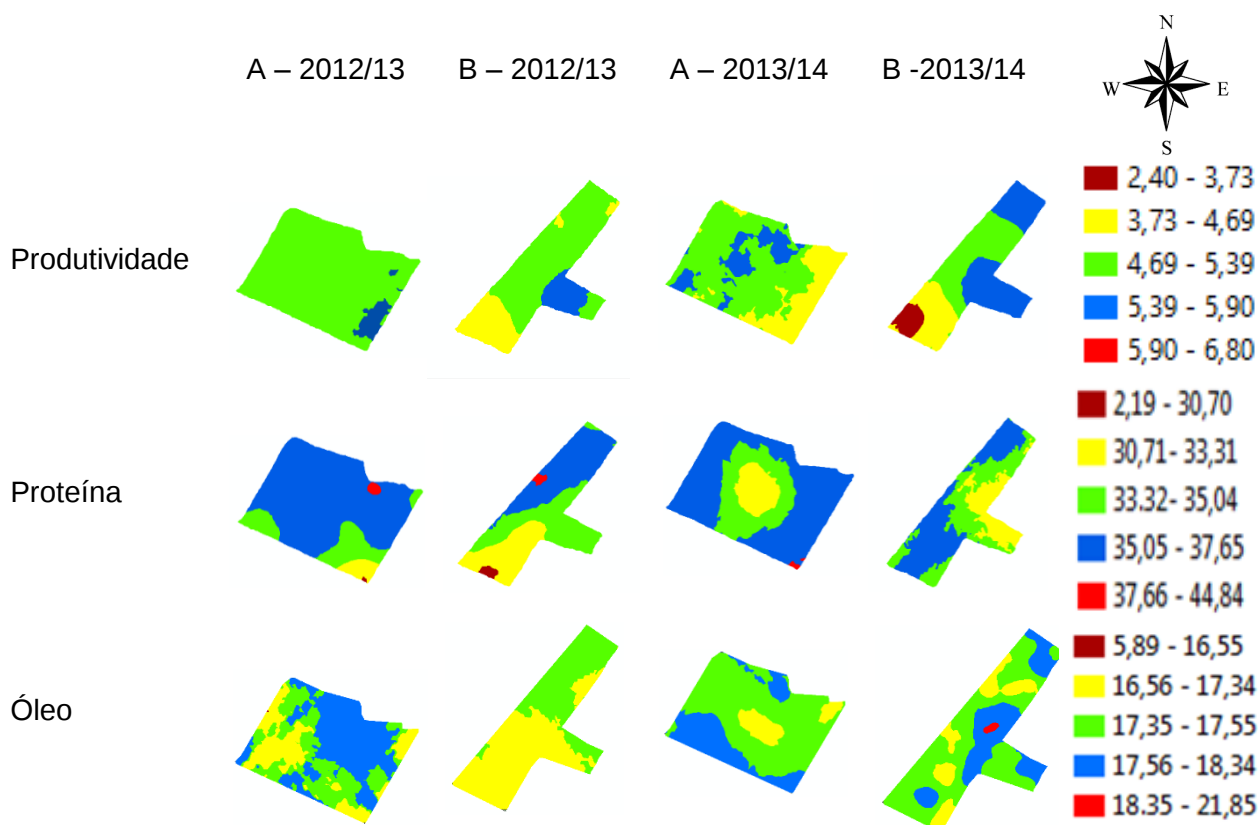


Figura - Mapas temáticos para produtividade, proteína e óleo de soja.

A correlação espacial para proteína, óleo e produtividade foi realizada com os atributos que apresentaram dependência espacial em cada área (A e B) e em cada ano agrícola (2012/13 e 2013/14).

Ao analisar a matriz de correlação (Figura 11), observou-se que o teor de proteína apresentou correlação (espacial) positiva (significativa) com K (0,044) e Ca (0,036). De forma negativa o teor de proteína demonstrou correlação com a produtividade (-0,057), P (-0,066), altitude (-0,058) e com o óleo (-0,038). Segundo Zanon (2007) a adequada nutrição em N, P, K e S, dado as funções no metabolismo de síntese de proteína e lipídeos, influenciam nos teores destes nos grãos. Em estudo autoral também verificou correlação positiva das concentrações de cálcio (0,442) dos grãos sobre os teores de proteína na cultivar BRS 206 e também observou que o teor foliar de fósforo, apresentou efeito direto negativo sobre os

teores de proteína nos grãos e efeitos positivos sobre os teores de óleo. Segundo Faquim (1994) maiores doses de N, em geral, diminui o teor de óleo e aumenta o teor de proteína dos grãos.

A disponibilidade adequada de Ca no solo para a planta (Tabela 2), pode ter favorecido o acúmulo de Ca nos grãos e, em contrapartida, de N para formação de proteínas. Segundo Mascarenha et al. (1996) o Ca é dos componentes da enzima redutase de nitrato, e sua presença em maior disponibilidade proporciona a formação de aminoácidos e, portanto de proteína.

Tanaka et al. (1995) estudando o efeito da adubação potássica e da calagem sobre os teores de proteína dos grãos de soja, também observaram que o aumento da produtividade de grãos reduziu as concentrações de proteína dos grãos. Assim, como Zanon (2007) que avaliando a cultivar CD 202, observou correlação significativa e negativa somente entre o teor de proteína e produtividade.

Com relação ao fósforo Stoddart e Smith (1955) consideram que há uma relação direta entre as quantidades de fósforo e proteína, sendo que um baixo teor de proteína pode estar associado a um baixo teor de fósforo.

De acordo com Burton (1987); Voldeng et al., (1997); Wilcox e Guodong (1997) a produtividade é inversamente correlacionada com o teor de proteínas nos grãos. Isso ocorre em função da competição por esqueletos de carbono disponíveis para a produção de carboidratos e proteína (Bhatai e Rabson, 1976).

Segundo Horan (1974) os teores de proteína e de óleo da soja podem variar pelas condições climáticas, localização geográfica, cultivares, tipo de solo e práticas agrônômicas.

Com relação ao teor de óleo, observa-se correlação positiva com MO (0,030) e Ca (0,031). Esses resultados corroboram com Caires et al. (2003) que em estudo sobre a produtividade e qualidade da soja em função da calagem na superfície em semeadura direta, observaram aumento no teor de óleo soja em função da dosagem de calcário, sem alteração no teor de proteína, e discorda com Tanaka et al. (1991) e Mascarenhas et al. (1996) que demonstraram que o teor de óleo de soja foi reduzido com a calagem e aumentado com a adubação potássica.

Proteína	0,019																					
SMP	0,016	0,036																				
Sat.AL	0,000	-0,010	-0,034																			
Prod.	-0,057	-0,036	0,028	0,146																		
K	0,044	-0,007	0,019	-0,050	-0,026																	
pH	0,009	0,002	0,020	-0,012	-0,026	-0,017																
Óleo	-0,038	-0,004	0,011	-0,007	-0,023	0,015	-0,025															
MO	0,007	-0,037	0,038	-0,007	0,010	-0,028	0,030	-0,019														
Mn	0,011	0,020	0,019	-0,007	-0,023	-0,015	0,001	-0,058	-0,018													
Mg	-0,004	-0,023	0,014	-0,033	0,004	-0,013	-0,004	0,008	-0,028	-0,029												
P	-0,066	-0,068	0,033	0,063	0,054	-0,041	-0,020	0,005	-0,026	0,009	0,050											
Fe	0,007	-0,055	0,026	0,049	0,006	-0,042	0,015	-0,006	-0,019	-0,010	0,041	-0,006										
Cu	-0,003	-0,054	0,024	0,017	0,014	-0,039	0,005	0,004	-0,035	-0,005	0,050	0,009	0,013									
Ca	0,036	-0,004	0,021	-0,036	-0,026	-0,017	0,031	-0,020	-0,017	-0,009	-0,055	-0,035	-0,024	-0,005								
Arg	0,000	-0,017	0,010	0,022	-0,003	-0,003	0,005	0,012	-0,012	-0,002	0,023	0,014	0,021	-0,004	-0,038							
Al	-0,003	-0,012	-0,033	0,019	0,019	0,018	0,006	0,041	0,015	0,020	0,037	0,023	0,028	0,019	0,005	-0,031						
Alt	-0,058	0,026	-0,023	0,063	0,018	0,026	-0,031	-0,008	0,032	-0,012	0,029	0,006	-0,002	-0,010	0,003	-0,023	0,052					
RSP 0-10	0,012	0,042	-0,022	-0,012	0,002	0,019	-0,010	-0,006	0,024	-0,002	-0,022	-0,021	-0,024	0,007	-0,004	-0,024	0,006	-0,044				
RSP 10-20	-0,013	0,037	-0,030	-0,004	0,003	0,019	-0,025	-0,010	0,031	-0,003	0,001	-0,004	-0,010	0,003	0,003	-0,030	0,016	-0,027	-0,032			
RSP 20-30	-0,020	-0,004	-0,007	-0,002	0,013	0,000	-0,020	0,006	0,018	-0,009	0,017	0,018	0,026	-0,006	0,013	-0,005	-0,011	-0,035	-0,039	-0,048		
H+AL	-0,018	-0,033	0,006	0,032	0,036	-0,001	-0,007	0,038	-0,018	0,025	0,068	0,052	0,055	0,004	0,009	0,008	-0,028	-0,042	-0,040	0,001	0,029	
	Proteína	SMP	Sat.AL	Prod.	K	pH	Óleo	MO	Mn	Mg	P	Fe	Cu	Ca	Arg	Al	Alt	RSP 0-10	RSP 10-20	RSP 20-30	H+AL	

■ Significativo a 5% com 999 iterações de cálculo

Figura - Correlação espacial área A 2012/13

Na Figura 12, está apresentada a correlação espacial dos atributos em estudo da área A e ano-safra 2013/14. Neste ano agrícola, a proteína também apresentou correlação positiva com K (0,035%) e negativa (significativa) com o teor óleo (-0,026).

Albrecht (2006), em sua análise sobre os teores de óleo e proteína, observa em seus resultados a correlação negativa existente entre o conteúdo de óleo e de proteína, na composição química das sementes de soja. O mesmo foi relatado por Pípolo (2002), que explica esta correlação negativa pela concorrência pelos esqueletos carbônicos na biossíntese de óleo e proteínas.

O óleo além da proteína, apresentou correlação com P (0,044) e Mg (0,043). Segundo Zanon (2007) o aumento das doses de P comumente favorece o conteúdo de óleo.

Proteína	-0,030																			
Alt.	0,034	0,052																		
Al	0,019	0,007	-0,025																	
Arg.	0,001	0,002	0,023	-0,038																
Ca	-0,020	0,025	0,016	0,001	-0,025															
Cu	-0,011	0,011	0,008	0,012	0,008	-0,001														
Fe	-0,008	-0,013	-0,002	-0,006	-0,014	-0,009	-0,036													
P	-0,017	0,036	-0,012	0,009	0,023	0,025	-0,017	-0,003												
Mg	0,004	0,057	-0,015	0,004	0,017	0,022	-0,014	0,052	0,056											
Mn	0,002	0,046	0,027	-0,004	-0,027	-0,007	-0,004	0,044	0,018	-0,046										
MO	-0,009	0,062	0,022	0,001	-0,007	0,005	-0,025	0,030	0,026	-0,008	0,027									
K	0,035	-0,043	-0,010	0,000	-0,003	0,003	0,030	-0,016	-0,005	-0,002	-0,033	-0,016								
Prod	-0,016	-0,003	-0,017	0,009	0,019	0,000	-0,007	-0,025	0,036	0,010	0,010	0,010	-0,023							
Sat.Al	0,018	0,002	-0,027	0,016	0,016	0,008	0,004	-0,006	-0,013	0,022	0,011	-0,002	-0,012	-0,030						
SB	-0,015	0,040	0,004	0,003	-0,011	0,015	-0,015	0,037	0,038	-0,010	0,010	-0,011	0,035	0,005	0,008					
Zn	-0,027	0,014	0,009	0,006	-0,006	0,014	-0,016	0,028	0,031	-0,011	0,007	-0,001	0,012	0,008	0,010	0,010				
RSP 0-10	-0,015	0,006	-0,017	-0,004	0,012	0,007	-0,020	0,010	0,018	0,007	-0,001	0,014	0,035	-0,018	0,019	0,017	-0,044			
RSP 10-20	0,012	0,016	-0,015	0,003	0,010	0,001	-0,007	0,021	0,020	0,010	0,006	0,010	0,025	-0,012	0,017	0,009	-0,027	-0,032		
RSP 20-30	0,004	-0,011	0,005	0,013	-0,008	-0,007	-0,007	-0,002	-0,006	-0,005	-0,017	-0,006	0,009	0,008	-0,009	-0,003	-0,035	-0,039	-0,048	
Óleo	-0,026	0,025	-0,003	0,008	0,007	0,011	-0,015	0,044	0,043	0,015	0,022	-0,001	0,001	-0,002	0,025	0,009	0,016	0,016	0,004	-0,030
	Proteína	Alt.	Al	Arg.	Ca	Cu	Fe	P	Mg	Mn	MO	K	Prod	Sat.Al	SB	Zn	RSP 0-10	RSP 10-20	RSP 20-30	Óleo

■ Significativo a 5% com 999 iterações de cálculo

Figura - Correlação espacial área A 2013/14

Na Figura 13, está apresentada a correlação espacial dos atributos em estudo da área B (2012/13). Nesta área, a proteína demonstrou correlação positiva com a altitude (0,084), K (0,093), Mn (0,123), MO (0,137), RSP 0-10 (0,049), SMP (0,111) e Zn (0,039). Demonstrou também correlação negativa com o óleo (-0,030), argila (-0,034), H+Al (-0,098) e RSP 20-30 (-0,033).

Em relação ao Mn o resultado encontrado corrobora com o trabalho realizado por Mann et al., (2002), em Minas Gerais, que avaliando a influência da aplicação de Mn na folha e no solo, sobre a qualidade de sementes de soja, em duas cultivares, concluíram que os menores teores de proteína foram detectados nos tratamentos testemunha, sem aplicação de Mn e os maiores teores foram encontrados nos tratamentos que receberam as maiores doses de Mn.

Com relação ao Zn o resultado condiz com o trabalho de Malta et al. (2002), que observou aumento na concentração de aminoácidos totais e proteínas na folhas de soja após a pulverização com Zn.

O óleo apresentou correlação positiva com a altitude (0,048), K (0,039), Mn (0,035), MO (0,071), SMP (0,065) e zinco (0,034), e apresentou correlação negativa, além da proteína, com o H+Al (-0,061).

De acordo com Mascarenhas et al. (1988), Pettigrew (2008) e Veiga et al. (2010) o potássio é essencial na síntese e no transporte de óleo nos grãos. Usherwood (1994) também afirma que o potássio tem função no transporte de fotoassimilados para os grãos, permitindo a síntese de óleo. Em sementes, o K exerce efeito positivo sobre o teor de óleo (TANAKA et al., 1997).

Em trabalho realizado por Veiga et al. (2010) avaliando a influência do potássio e da calagem, na composição química, qualidade fisiológica e na atividade enzimática de sementes de soja foram observados aumentos nos teores de óleo com o aumento nas doses de potássio utilizadas, independentemente da saturação por base, em que foram registrados valores de teor de óleo acima de 19% foi verificado para a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de potássio. Trabalho semelhante realizado por Pedroso Neto e Rezende (2005) avaliando doses e modos de aplicação de K na produtividade de grão e qualidade de semente de soja, também verificaram aumento no teor de óleo com o aumento das doses de potássio.

No estudo de Mann et al. (2002), além de observarem acréscimo no teor de proteína com maiores doses de Mn, também observaram acréscimo de 20% nos teores de óleo nos tratamentos que receberam Mn. Assim como Wilson et al. (1982) que também verificaram alteração no teor de óleo em condições de baixos níveis de Mn nas folhas

Malavolta (2009) em estudo sobre a interação do (Mg e Mn) e (Mg e Zn) no teor

de óleo em quatro cultivares de soja, observou que para a dosagem de (Mg e Mn), o aumento da concentração de Mg na solução, na média das cultivares de soja em estudo, proporcionou aumento no teor de óleo e diminuição no teor de proteína. Na interação (Mg e Zn), o autor observou aumento no teor de óleo em duas das quatro cultivares estudadas.

Proteína	0,118																						
Alt.	0,084	0,385																					
Al	-0,013	-0,060	-0,022																				
Arg	-0,034	-0,160	0,032	0,054																			
Ca	0,027	0,053	0,007	-0,019	-0,018																		
Cu	-0,019	-0,026	0,014	0,006	-0,005	0,021																	
Fe	0,020	0,062	-0,001	-0,023	0,007	0,001	-0,010																
H+AL	-0,098	-0,249	0,041	0,130	-0,045	-0,019	-0,058	0,264															
K	0,093	0,017	0,001	-0,016	0,009	0,014	0,018	-0,098	0,084														
Mg	-0,014	0,030	0,012	-0,011	-0,021	0,001	-0,005	0,009	-0,029	-0,026													
Mn	0,123	0,054	-0,007	-0,027	0,003	0,003	0,013	-0,090	0,091	-0,025	0,106												
MO	0,137	0,195	-0,048	-0,106	0,056	-0,001	0,051	-0,228	0,125	-0,004	0,142	0,219											
Óleo	-0,030	0,048	-0,006	-0,020	0,007	-0,008	0,016	-0,061	0,039	-0,010	0,035	0,071	0,000										
pH	-0,014	0,062	0,003	-0,030	-0,010	0,001	0,000	-0,030	-0,020	-0,012	-0,023	0,019	-0,009	-0,001									
Prod	-0,001	-0,128	0,020	0,040	-0,006	0,013	-0,013	0,043	0,032	-0,016	0,035	-0,018	-0,014	-0,022	0,042								
RSP 0-10	0,050	0,159	-0,022	-0,079	0,018	0,014	0,046	-0,151	0,046	-0,003	0,051	0,131	0,038	0,016	-0,107	0,065							
RSP 10-20	-0,017	0,061	0,011	-0,027	-0,017	0,016	0,013	-0,038	-0,011	-0,007	-0,013	0,022	0,005	0,000	-0,022	0,017	-0,003						
RSP 20-30	-0,033	-0,053	0,026	0,027	-0,026	0,013	-0,013	0,056	-0,023	-0,011	-0,024	-0,052	-0,012	-0,022	0,018	-0,028	-0,016	-0,010					
Sat.Al	-0,017	-0,063	-0,021	0,028	0,009	0,011	-0,001	0,035	0,002	0,013	-0,011	-0,043	-0,007	0,005	0,017	-0,021	0,011	0,022	-0,021				
SB	0,029	0,048	0,009	-0,019	-0,017	0,001	0,006	-0,045	0,012	-0,027	0,013	0,058	0,007	-0,014	0,000	0,020	-0,015	-0,024	0,009	-0,018			
SMP	0,111	0,261	-0,045	-0,135	0,048	0,018	0,060	-0,279	0,106	-0,005	0,111	0,251	0,065	0,029	-0,035	0,165	0,044	-0,054	-0,044	0,049	0,294		
Zn	0,039	0,027	-0,005	-0,036	0,004	0,012	0,010	-0,067	0,041	-0,012	0,033	0,065	0,034	-0,001	0,005	0,023	0,006	0,003	-0,002	0,006	0,073	0,011	
P	0,025	0,008	-0,020	-0,021	0,005	0,034	0,003	-0,073	0,051	-0,002	0,052	0,054	0,004	0,008	0,048	0,050	0,030	0,018	-0,019	0,012	0,075	0,032	0,061
	Proteína	Alt.	Al	Arg	Ca	Cu	Fe	H+AL	K	Mg	Mn	MO	Óleo	pH	Prod	RSP 0-10	RSP 10-20	RSP 20-30	Sat.Al	SB	SMP	Zn	P

■ Significativo a 5% com 999 iterações de cálculo

Figura - Correlação espacial área B 2012/13

Na Figura 14, está apresentada a correlação espacial dos atributos em estudo da área B (2013/14). Neste ano, a proteína demonstrou correlação positiva com a altitude (0,080), P (0,052), K (0,038), pH (0,039) e RSP 0-10 (0,029). De forma negativa, demonstrou correlação com argila (-0,045), Cu (-0,031), RSP 20-30 (-0,024) e com o óleo (-0,026).

A evidência da correlação negativa entre proteína e óleo tem sido relatada em diversos estudos como (Hartwig; Hinson, 1972; Burton, 1987; Wilcox; Cavins, 1995; Wilcox, 1998; Cober; Voldeng, 2000).

Costa et al. (1988) observaram melhor qualidade nas sementes de soja em locais mais altos e temperatura amenas. Tanaka et al. (1991) e Mascarenhas et al. (1991) observaram variações nos teores de óleo e de proteína de soja como resultado da correção da acidez.

O óleo apresentou correlação positiva com RSP 10-20 (0,023), RSP 20-30 (0,022). De forma negativa além da proteína (-0,026), correlacionou-se também com o pH (-0,024). O pH exerce grande influência no crescimento e desenvolvimento das plantas, uma vez que está diretamente ligado a disponibilidade de nutrientes (CANELLAS et al., 1999; SOUZA et al., 2007).

Tanaka e Mascarenhas (1996) observaram alterações na composição mineral dos grãos de diferentes variedades de soja em função da calagem em solo ácido.

Proteína	-0,012																						
Alt	0,081	0,346																					
Al	-0,012	-0,062	0,044																				
Arg	-0,045	-0,146	0,030	0,048																			
Ca	-0,004	-0,085	0,005	0,026	0,024																		
Cu	-0,031	-0,118	0,058	0,058	0,007	0,066																	
Fe	0,015	0,101	0,019	-0,045	-0,042	-0,015	0,023																
P	0,052	0,233		-0,113	-0,019	-0,112	0,036	0,239															
H+Al	-0,009	-0,005	0,044	0,014	-0,023	0,036	0,025	-0,067	0,030														
Mg	0,009	0,019	-0,028	-0,017	0,023	-0,035	-0,020	0,058	-0,037	-0,014													
Óleo	-0,026	-0,053	0,001	0,014	0,011	0,007	-0,018	-0,037	0,000	-0,012	-0,001												
pH	0,040	0,124	-0,063	-0,059	-0,021	-0,066	0,006	0,146	-0,034	0,038	-0,024	0,067											
K	0,038	0,027	-0,022	-0,022	0,027	-0,053	-0,013	0,058	-0,035	0,041	0,020	0,034	0,029										
RSP 0-10	0,029	0,140	-0,056	-0,072	0,000	-0,059	0,036	0,164	-0,045	0,043	0,010	0,087	0,055	0,057									
RSP 10-20	0,003	0,059	-0,022	-0,033	0,010	-0,030	0,013	0,066	-0,020	0,022	0,023	0,031	0,027	0,020	-0,009								
RSP 20-30	-0,024	-0,030	0,012	0,013	0,016	0,006	-0,004	-0,027	0,009	-0,003	0,022	-0,022	-0,003	-0,017	-0,020	-0,018							
Sat.Al	-0,011	-0,057	0,044	0,029	0,003	0,057	0,026	-0,100	0,046	-0,027	-0,004	-0,059	-0,027	-0,053	-0,024	0,008	0,043						
SB	0,002	-0,051	-0,013	0,008	0,033	-0,018	-0,044	0,021	-0,040	0,017	0,006	0,006	0,046	0,025	0,021	0,009	-0,013	0,039					
SMP	0,009	-0,008	-0,038	-0,010	0,025	-0,028	-0,026	0,055	-0,028	0,038	0,003	0,025	0,037	0,037	0,018	-0,009	-0,040	0,043	0,026				
Zn	-0,024	-0,113	0,023	0,047	0,024	0,042	-0,027	-0,078	0,001	-0,007	0,016	-0,039	-0,018	-0,039	-0,018	0,007	0,021	0,012	0,003	0,014			
Prod	-0,001	-0,011	-0,070	-0,016	0,042	-0,050	-0,060	0,098	-0,079	0,079	0,025	0,061	0,060	0,042	0,025	-0,005	-0,076	0,086	0,067	0,012	0,106		
	Proteína	Alt	Al	Arg	Ca	Cu	Fe	P	H+Al	Mg	Óleo	pH	K	RSP 0-10	RSP 10-20	RSP 20-30	Sat.Al	SB	SMP	Zn	Prod		

■ Significativo a 5% com 999 iterações de cálculo

Figura - Correlação espacial proteína área B 2013/14

A Tabela 14 apresenta as principais correlações do teor de proteína e teor óleo das áreas experimentais nos dois anos agrícola entre os atributos estudados. Com relação ao teor de proteína, o resultado da correlação espacial demonstrou correlação positiva entre o K, nas duas áreas (A e B) e nos dois anos agrícolas (2012/13 e 2013/14), com maior correlação (0,093) na área B (2012/13). Esses resultado corrobora com Bertolini et al. (2007) que estudando o efeito do K sobre grãos de Gandu, verificaram que a dose 60 kg ha⁻¹ proporcionou maior rendimento de proteína por área. Em estudo semelhante Meurer (2006) verificou o nível adequado do K promoveu aumento no teor de proteína e de amido nos grãos e tubérculos, na coloração e aroma dos frutos, no teor de ácido ascórbico e sólidos solúveis e na redução de distúrbios fisiológicos

Os níveis de K no solo em ambas as áreas, em pelo menos 70% dos pontos amostrais foram classificados como alto ou muito alto, valores suficientes para a produção da soja. Segundo Sá (1994), plantas nutridas com K de modo adequado e equilibrado apresentam condições de produzir maior quantidade de sementes, aliada à melhor qualidade. Honda e Honda (1990) afirmam que teores adequados de K aumentam a capacidade das plantas de utilizarem o N para transformá-lo em proteína. Tanaka; Mascarenhas e Miranda (1991) relatam a ocorrência de variações nos teores de óleo e de proteína em semente de soja resultante do manejo da adubação ou da correção da acidez do solo. A proteína também demonstrou correlação espacial positiva com altitude na área B nos dois anos agrícolas, com maior correlação (0,084) em (2012/13).

De forma negativa o teor de proteína apresentou correlação com a argila e com RSP 20-30 na área B nos dois anos agrícola, sendo que maior correlação com a argila (-0,045) aconteceu no ano-safra (2013/14) e a maior correlação (-0,033) com RSP 20-30 foi em (2012/13). Com relação à argila, os resultados encontrados, difere com os Denari (2003), que não observou correlação entre argila com o teor de proteína, em estudo sobre o mapeamento dos teores de proteína e óleo e sua correlação com os atributos do solo. Com relação à resistência à penetração os resultados encontrados corrobora com os de Cavallini et al. (2010) em estudo semelhante. Os autores verificaram que o aumento da resistência mecânica à penetração e da umidade do solo na camada superficial, no cultivo de *Brachiaria brizantha*, promove a redução do teor de proteína bruta e da matéria seca.

A proteína também apresentou correlação negativa com o teor de óleo, nas duas áreas experimentais (A e B) nos dois anos agrícolas (2012/13 e 2013/14), sendo que a maior correlação (-0,030) aconteceu na área B ano-safra (2012/13). Outros pesquisadores também encontraram correlação inversa entre os teores de proteína e de óleo (Johnson et al., 1955; Kwon e Torrie, 1964; Thorne e Fehr, 1970; Hymowitz et

al., 1972; Simpson Junior e Wilcox, 1983; Burton, 1984, Bonatto, 2000).

O teor de óleo além da proteína correlacionou também com a MO nas duas áreas experimentais, porém em um único ano agrícola 2012/13. A MO é um dos atributos químicos que mais afetam as características químicas, ela afeta a disponibilidade de nutrientes às culturas. Todavia, a agregação do solo é a mais afetada entre as características físicas. Porém a MO afeta diretamente as características biológicas do solo, visto que atua como fonte de energia, carbono e nutriente aos microrganismos (CAMARGO et al., 1999; BAYER; MIELNICZUK, 2008)

Tabela - Principais correlações do teor de proteína e do teor de óleo na soja

	Proteína	Óleo	Altitude	Argila	MO	Potássio	RSP 20-30
Proteína		-0,033*	0,084*	-0.045*		0,093*	-0,033*
Óleo					0,071*		

■ Correlacionou nas duas áreas (A e B) nos dois anos agrícolas (2012/13 e 2013/14)
■ Correlacionou na área B nos dois anos agrícolas (2012/13 e 2013/14).
■ Correlacionou na duas áreas (A e B) em um único ano agrícola (2012/13).

5. CONCLUSÃO

O teor de K foi o único atributo químico que correlacionou de forma significativa (positiva) com a proteína, nas duas áreas experimentais (A e B) nos dois anos agrícola estudados.

Dentre os atributos de textura do solo a argila foi o único atributo que correlacionou com a proteína na área B nos dois anos agrícolas.

Dentre a os atributos de resistência mecânica a penetração a profundidade 20-30 foi a única que correlacionou com a proteína na área B nos dois anos agrícolas

A altitude correlacionou-se com a proteína na área B nos dois anos agrícolas.

A proteína e o óleo correlacionaram-se inversamente nas duas áreas experimentais área A (2013/14) e na área B nos dois anos (2012/13 e 2013/14).

O óleo além da proteína correlacionou-se também com a matéria orgânica MO nas duas áreas experimentais 2012/13.

A produtividade demonstrou correlação inversa com o teor de proteína, somente na área A em (2012/13).

REFERÊNCIAS

- ACOCK B.; PACHEPSKY, Y. A. Holes in precision farming: mechanistic crop models. In: **European Conference On Precision Agriculture**, 1., 1997, London: SCI, p. 397-404, 1997.
- ALBRECHT, L.P.; BRACCINI, A. DE L.E.; ÁVILA, M.R.; SUZUKI, L.S.; SCAPIM, C.A. e BARBOSA, M.C. **Teores de óleo, proteínas e produtividade de soja em função da antecipação da semeadura na região oeste do Paraná**. *Bragantia*, 67:865-873, 2008.
- ARIAS, C. A., PÍPOLO, A.E. EMBRAPA Soja – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soja sofre redução no teor de proteína ao longo do tempo**. (2015). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/7693893/soja-sofre-reducao-no-teor-de-proteina-ao-longo-do-tempo>>. Acesso 08 março de 16.
- BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G.; RODRIGUES, S.; NÓBREGA, L. H. L.; OPAZO, M. A. U.; SANTOS, D.; KONOPATZKI, M. R. S.; SUSZEK, G. **Definição de unidades de manejo para controle de plantas invasoras**. In: *Avances en Ingeniería Rural 2007-2009*. Rosario: UNR, p. 835-842, 2009.
- BAZZI, C. L. **Software para definição e avaliação de unidades de manejo em agricultura de precisão**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Cascavel. 2011.
- BELLALLOUI, N., YIN, X., MENGISTU, A., MCCLURE, M. A., TYLER, D. D., REDDY, N. K. Soybean Seed Protein, Oil, Fatty Acids, and Isoflavones Altered by Potassium Fertilizer Rates in the Midsouth. **Journal of Plant Sciences**, 2013.
- BOERMA, H.R.; SPECHT, J.E. Soybeans: improvement, production and uses. 3rded. Madison: **American Society of Agronomy**, 2004. 1180p.
- BONATO, E.R.; BERTAGNOLLI, P.F.; LANGE, C.E. e RUBIN, S.A. **Teor de óleo e de proteína em genótipos de soja desenvolvidos após 1990**. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35:2391-2398, 2000.
- BRUMM, T.J., and C.R. Hurburgh. 1990. **Estimating the processed value of soybean**. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 67:302–307. doi:10.1007/BF02539680
- BRUSCO, J.; SOUZA, E.G.; JUNIOR, F. A. R.; JOHANN, J. A.; PEREIRA, J. O. **Mapas de Lucratividade da Soja em Sistemas de Cultivo Agricultura de Precisão e Cultivo Convencional**. 3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão – Sete Lagoas, MG. 2005
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. **Field-scale variability or soil properties in Central Iowa Soils**. *Soil Science Society America Journal*, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.
- CORÁ, J.E. **The potential for site-specific management of soil and yield variability induced by tillage**. East Lansing, Michigan State University, 1997. 104p.
- COSTA NETO, P. R. e ROSSI, L. F. S. **Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em fritura**. *Química Nova*, v.23, p. 4, 2000.

CRESSIE, N.A.C. **Statistics for Spatial Data, Revised Edition**. John Wiley e Sons, New York, 928p. 1993.

CZAPLEWSKI, R.L., e Reich, R.M. **Expected value and variance of Moran's bivariate spatial autocorrelation statistic under permutation**. Fort Collins, CO: Research Paper. 1993

DE CAIRES, S. A.; WUDDIVIRA, M. N.; BEKELE, I. Spatial analysis for management zone delineation in a humid tropic cocoa plantation. **Precision Agriculture**, v.16, n. 2, Jul 2014, pag. 129-147. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-014-9366-5>

DHAKAL, K. H., LEE, J. D., JEONG, Y. S., KIM, H. S., SHANNON, G. J, HWANG, Y. H. Stability of linolenic acid in seed oil of soybean accessions with elevated linolenic acid concentration. **Journal of Food, Agriculture e Environment**, Vol.11 (1), January 2013.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de Produção de Soja**. Embrapa Soja, 1º ed. Londrina, PR, 2013

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soja sofre redução no teor de proteína ao longo do tempo**. (2015). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/7693893/soja-sofre-reducao-no-teor-de-proteina-ao-longo-do-tempo>>. Acesso 08 março de 2016.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. U.S. **Food labeling health claims: soy protein and coronary heart disease**. Food and Drug Administration, HHS. Final rule. Fed Regist. 1999, 64:57700–33.

FRANCISCO, P. D. **A importância da cartografia temática na análise do espaço geográfico: qualidade de água versus ocupações irregulares no Aglomerado Metropolitano de Curitiba**. Sanare - Revista Técnica da Sanepar, Curitiba, v.20, n.20, p.35-41, 2003

HORAN, F.E. **Soy protein products and their production**. Journal of the American Oil Chemists Society, New York, v.51, n.1, p.67-73, 1974.

HYMOWITZ, T.; COLLINS, F. I.; PANCZNER, J.; WALKER, W. M. Relationship between the content of oil, protein, and sugar in **soybean seed**. Agronomy Journal, Madison, v. 64, n. 5, p. 613-616, 1972.

JOHNSON, H. W.; ROBINSON, H. F.; COMSTOCK, R. E. Genotypic and phenotypic correlations in soybeans and these implications in selection. **Agronomy Journal**, Madison, USA, v. 47, p. 477-483, 1955.

KWON, S. H.; TORRIE, J. H. Heritability and interrelationship among traits of two soybean populations. Crop Science, Madison, USA: **Crop Science Society of America**, v. 4, p. 196-198, 1964.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas : princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MANN, E.N.; RESENDE, P.M.; MANN, R.S.; CARVALHO, J.G.; PINHO, E.V.R. von. **Efeito da aplicação de manganês no rendimento e na qualidade de sementes de soja**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.37, n.12, p.1757-1764, 2002.

MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R.T.; GALLO, P.B.; PE-REIRA, J.C.V.N.A.; AMBROSANO, G.M.B.; CARMELLO, Q.A.C. **Efeito da calagem sobre a produtividade de grãos, óleo e proteína em cultivares precoces de soja.** Scientia Agrícola, Piracicaba, v.53, n.1, p.164-172, 1996.

MATHERON, G. **Principles of Geostatistics.** Economic Geology, Lacaster, v. 58, n.1, p. 1246-1266, 1963

MATTIONI, N.M, SCHUCH, L.O.B, VILLELA, F.A. **Variabilidade espacial e efeito de atributos químicos de latossolo na população de plantas e produtividade da cultura da soja.** Revista da FZVA Uruguaiana, V.19, n.1, p.20-32. 2013

MINUZZI, A. Desempenho agrônomo, qualidade de sementes e teores de óleo e proteínas de quatro cultivares de soja, colhidas em dois locais no Estado do Mato Grosso do Sul. 2007. 98f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, PR.

MIRANDA, J.E.C. de; FRANCA, F.H.; CARRIJO, O.A.; SOUZA, A.F.; AGUILAR, J.A.E. Cultivo de batata-doce (*Ipomea batatas* (L.) Lam). Brasília, DF, EMBRAPA-CNPQ, 1987. p. 7. (EMBRAPA-CNPQ. Instruções Técnicas, 7).

OLIVEIRA FILHO, X.F. **Análise espacial da compactação do solo em área cultivada com cana de açúcar.** Tese (Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2014).

PIMENTEL, F. G.; GARCIA, G. H.. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais.** Piracicaba: Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz, 2002. 307 p.

PETTIGREW, W.T. **Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton.** Physiologia Plantarum, v.133 p.670-681, 2008.

PEIXOTO, C. P.; CÂMARA, G. M. S.; MARTINS, M. C; MARCHIORI, L. F. S.; GUERZONI, R. A.; MATTIAZZI, P. Época de semeadura e densidade de plantas de soja: I. Componentes da produção e rendimento de grãos. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 89-96, 2000.

PÍPOLO, A.E. **Influência da temperatura sobre as concentrações de proteína e óleo em sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill).** 2002. 128p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

RANGEL, M.A.S.; CAVALHEIRO, L.R.; CAVICHIOLO, D.; CARDOSO, P.C. **Efeito do genótipo e do ambiente sobre os teores de óleo e proteína nos grãos de soja, em quatro ambientes da região sul de Mato Grosso do Sul, safra 2002/2003.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2004. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 17).

RAO, A.C.S.; SMITH, J.L.; V.K.; JANDHYALA, R.I.; PARR, J.F. **Cultivar and climatic effects on the protein content of soft white winter wheat.** Agronomy Journal, v.85, p.1023-1028 1993.

ROTUNDO, J.L.; WESTGATE, M.E. Meta-analysis of environmental effects on soybean seed composition. **Field Crops Research**, v.110, p.147-156, 2009. 5 DOI: 10.1016/j.fcr.2008.07.012.

SA, J.C.M. **Reciclagem de nutrientes dos resíduos culturais, e estratégia de fertilização para a produção de grãos no sistema plantio direto.** In: SEMINÁRIO SOBRE O SISTEMA PLANTIO DIRETO NA UFV, 1., Viçosa, 1998. Resumo das

palestras. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1998. p.19-61

SANTOS, E. L.; PÍPOLO, A. E.; FARIA, R. T.; PRETE, C. E. C. Influence of genotype on protein and oil concentration of soybean seeds. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Curitiba, v. 53, n. 4, p. 793-799, 2001.

SIMPSON JUNIOR, A. M.; WILCOX, J. R. Genetic and phenotypic associations of agronomic characteristics in four high protein soybean populations. *Crop Science*, Madison, USA: **Crop Science Society of America**, v. 23, p. 1077-1081, 1983.

SHOEMAKER, H.E.; MC ,LEAN, E.O, PRATT, P.F. **Buffer methods for determining lime requirements of soils with appreciable amounts of extractable aluminum**. *Soil*

SOUZA, Z. M.; CERRI, P. D. G.; MAGALHÃES, P. G.; CAMPOS, M. C. C. **Correlação dos atributos físicos e químicos do solo com a produtividade de cana-de-açúcar**. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*. v. 8, n. 2, 2007.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; MIRANDA, M.A.C. Effect of liming on soybean protein and oil yield. *Better Crops International*, Atlanta, v.7, n.2, p.9, 1991.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; REGITANO- D'ARCE, M.A.B.; GALLO, P.B. **Concentração e produtividade de óleo e proteína de soja em função da adubação potássica e da calagem**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.30, n.4, p.463-469, 1995

TEIXEIRA, M. B. R. **Comparação entre estimadores de semivariância**. 2013. 122p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

VEIGA, A. D.; PINHO, E. V. R. V.; VEIGA, A. D.; PEREIRA, P. H. A. R.; OLIVEIRA, K. C.; PINHO, R. G. V. **Influência do potássio e da calagem na composição química, qualidade fisiológica e na atividade enzimática de sementes de soja**. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, n. 4, p. 953-960, 2010

VOLDENG, H. D.; COBER, E. R.; HUME, D. J.; GILLARD, C.; MORRISON, M. J. Fifty-eight years of genetic improvement of short-season soybean cultivars in Canada. *Crop Science*, Madison, USA: **Crop Science Society of America**, v. 37, p. 428-431, 1997.

WILCOX, J.R.; CAVINES, J.F. **Normal and low linolenic acid soybean strains. Response to planting date**. *Crop Science*, v.32, p.1248-1251, 1992.

WILSON, R. E. Seed composition. In: BOERMA, H. R. J. E. (Ed.). **Soybeans: improvement, production and uses**. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 2004. p. 621-677, 1993.

WILCOX, J. R.; GUODONG, Z. Relationship between seed yield and seed protein in determinate and indeterminate soybean populations. *Crop Science*, West Lafayette, v. 37, n. 2, p. 361-364. 1997.

WOLLENHAUPT. N. C.; WOLKOWSKI. R. P.; CLAYTON. M. K. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. *Journal of Production Agriculture*, v. 7, p. 441-448. 1994.

ZANON, G. D. **Teor de proteína e de óleo em grãos de soja obtidos sob diferentes tipos de manejo**. 2007. 62 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, 2007.

5.2 ARTIGO 2

ESPACIALIZAÇÃO DOS TEORES DE PROTEÍNA E ÓLEO DE MILHO E SUA CORRELAÇÃO COM OS ATRIBUTOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE

RESUMO: Muitos são os atributos que podem estar influenciando os teores de proteína e óleo do grão de milho, como os atributos químicos e físicos do solo, textura, resistência mecânica a penetração e altitude. Este estudo teve como objetivo analisar a variabilidade espacial dos teores de proteína e óleo de grãos de soja e correlacioná-los com os atributos do solo, físicos (resistência do solo à penetração) e químicos do solo (P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn MO, Al, pH, H+Al, SB, SMP e Sat. Al, textura (areia, silte e argila), altitude e com a produtividade. O experimento foi conduzido em duas áreas experimentais, cultivadas sob sistema de plantio direto em dois anos agrícolas 2012/13 e 2013/14. Calculou-se então o índice de dependência espacial, elaborou-se os mapas temáticos e realizou a correlação espacial entre os parâmetros de qualidade da soja e atributos do solo. O teor de proteína demonstrou correlação positiva com fósforo e com a resistência mecânica a penetração nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30. O teor de óleo demonstrou correlação negativa significativa com a produtividade nas duas áreas em estudo.

PALAVRAS-CHAVE: atributos do solo, teor de proteína e teor de óleo, variabilidade espacial.

SPATIAL ANALYSIS OF QUALITY PARAMETERS OF CORN ITS CORRELATION WITH CHEMIC AND PHYSIC ATTRIBUTES OF SOIL AND YIELD

ABSTRACT: There are many attributes that can influence corn protein and oil contents, which may have as examples the chemical and physical soil properties, texture, mechanical resistance to penetration and altitude. Besides yield, studies involving parameters such as quality are essential, since raw materials are seen as a possibility to be used in industry. Thus, this trial aimed at carrying out spatial analysis of quality parameters for maize (protein and oil content). The index of spatial dependence was calculated, while thematic maps were drawn. Further, analysis of spatial correlation among these parameters and attributes of soil was carried out as well as physical (soil penetration resistance) and chemical of soil (P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn MO, Al, pH, H+Al, SB, SMP e Sat. Al, texture (sand, silt and clay), altitude and yield were also recorded. This trial was carried out in two areas (A and B) cropped with maize (winter maize) under no-tillage system. Among the studied attributes, The maize protein content showed positive correlation with phosphorus and mechanical resistance to penetration at 0-10, 10-20, 20-30 cm depth. The content of oil showed a significant negative correlation with the productivity in both experimental areas in study.

KEYWORDS: soil attributes, protein content and oil content, corn, spatial variability.

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*) está entre o grupo de cereais mais cultivados e consumidos no mundo, seu valor econômico está associado às diversas formas de uso e está intrinsecamente ligado à alimentação humana e animal e, até a indústria de alta tecnologia (GANEM, 2013). No entanto é como matéria prima de rações que é mais utilizado devido ao seu valor energético de 70% de amido, 5% de lipídeos e 10% de proteína. O milho contribui para alimentação animal como fornecedor de energia principalmente na cadeia produtiva de aves e suínos, que consome cerca de 70% a 80% do milho produzido no Brasil (ROSTAGNO et al., 2011; MIRANDA et al., 2012).

No ranking mundial o Brasil ocupa a terceira posição dos maiores produtores de milho, atrás dos Estados Unidos e China. Juntos estes países respondem por 66,5% da produção mundial (CONAB, 2015). No Brasil o milho é a segunda cultura de grãos mais produzida, com produção de 80 milhões de toneladas em 2014/2015. O Paraná é o segundo maior produtor de milho do país, com uma área cultivada de 2,43 milhões de hectares, produção de 14,72 milhões de toneladas, e uma produtividade média de 6.050 kg ha⁻¹ (CONAB, 2015).

Entre as regiões no país com maior produtividade média de grãos, destaca-se a Região Sul (6,11 t ha⁻¹) e a Região Centro-Oeste (5,65 t ha⁻¹) (CONAB, 2015). Nas duas últimas safras (2013/14 e 2014/15), a produção de milho no Brasil ultrapassou a marca de 80 milhões de toneladas de grãos, tendo como produtividade média nacional na última safra 5,18 t ha⁻¹ (CONAB, 2015).

A importância socioeconômica da cadeia produtiva do milho ocorre em todas as regiões do Brasil. Essa cadeia produtiva movimenta um mercado de aproximadamente 40 bilhões de dólares anuais, distribuídos entre indústrias de produção de alimentos para consumo humano, rações e matéria prima para produtos industrializados (FERRARI FILHO, 2011). Da produção brasileira cerca de 80-85% é destinada à produção animal (Paes, 2006; CONAB, 2015) e o restante à alimentação humana, através de seus derivados como o óleo, farinha, amido, entre outros. O excedente da produção é destinado à exportação, conferindo ao Brasil a segunda posição entre os principais países exportadores (CONAB, 2016).

A adubação está entre os fatores que mais contribui para o aumento da produtividade desta cultura, podendo também influenciar na qualidade dos grãos. O nitrogênio é o nutriente mais exigido e extraído pela cultura e é o que mais fornece resposta em termo de produtividade se aplicado corretamente (DEPARIS, 2007).

Com a utilização das tecnologias de agricultura de precisão tem-se a

possibilidade de se aplicar de forma localizada os insumos agrícolas em taxa variável a cada sub-região do campo e, dessa maneira promover a melhoria de suas características, uma vez que as aplicações em quantidades adequadas, nos locais certos, implicam na redução de custos e aumento de produtividade e na qualidade (MONTANARI, 2012).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial dos parâmetros de qualidade do milho teor de proteína e teor de óleo e sua correlação em relação aos atributos físicos (resistência do solo à penetração e textura) e químicos do solo (Fe, Ca, N, P, K, Mg, Zn, Mn), do relevo e da produtividade, para identificar a relação de causa e efeito desses atributos.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido nas safras agrícolas 2012/13 e 2013/14, em duas áreas experimentais (Figura 1, área A com 10,0 ha e área B com 23,8 ha), localizadas no município de Serranópolis do Iguaçu (PR), situadas entre as coordenadas geográficas de latitude 25°24'28" S a longitude 54°00'17" O, com 355 m de altitude. O solo da região é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico típico e apresenta elevados teores de argila (EMBRAPA, 2006). As áreas experimentais são manejadas sob sistema de plantio direto há 10 anos, com sucessão das culturas soja e milho para fins comerciais.

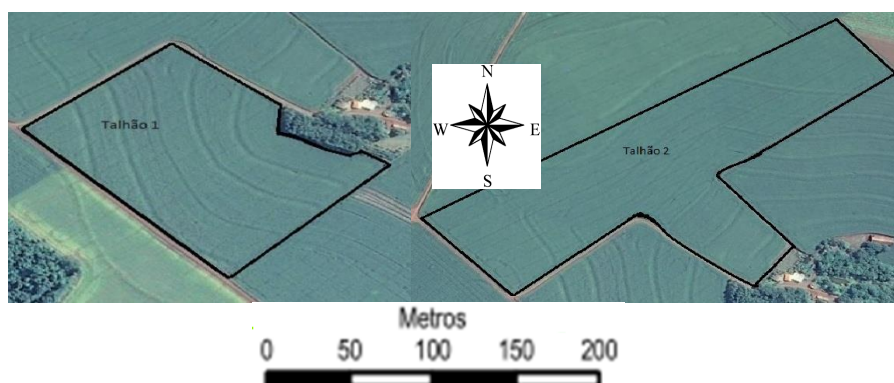


Figura 1 Áreas experimentais, área A e área B.

Fonte: Google Earth (2012)

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa – subtropical úmido, com presença de verão e inverno bem definidos e com possibilidades de geadas e chuvas regulares em todos os meses. Os dados meteorológicos de temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa do ar e precipitação, dos anos em

estudo (2012, 2013 e 2014) referentes a estação meteorológica São Miguel do Iguaçu, PR, foram obtidos pelo Instituto Tecnológico Simepar.

Em 2012 a temperatura média anual foi de (23,1 °C) temperatura máxima (29,7 °C) temperatura mínima (17,3 °C) com umidade relativa (68,9%) e precipitação acumulada de (113 mm). Em 2013 a temperatura média anual foi de (22,0 °C) temperatura máxima (28,1 °C) temperatura mínima (16,5 °C) com umidade relativa (73,5%) e precipitação acumulada de (149 mm). Em 2014 a temperatura média anual foi de (22,7 °C) temperatura máxima (28,9 °C) temperatura mínima (17,4 °C) com umidade relativa (74,9%) e precipitação acumulada de (174 mm).

Para o mapeamento do contorno das áreas foi utilizado o receptor GPS Trimble Geo Explorer XT 2005 e para geração das grades amostrais, foi utilizado o software Pathfinder. Por se tratar de áreas que possuem grau de declividade e várias curvas de nível optou-se, por utilizar grades amostrais irregulares com distância mínima de 40 m para a determinação da dependência espacial, contendo 42 pontos amostrais no talhão 1 e 73 pontos amostrais no talhão 2 (Figura 2).

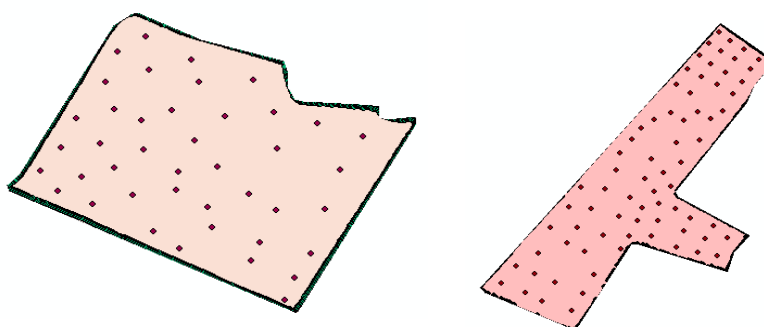


Figura .2. Grades amostrais, área A e área B.

Em cada um dos 115 pontos amostrais, foram determinados atributos relativos à atributos químicos (Al, pH, H+Al, Ca, P, Mg, K, Cu, Zn, Fe, e Mn), textura (argila, silte e areia), resistência mecânica do solo à penetração e altitude.

Para a determinação dos elementos químicos do solo foram feitas oito perfurações (sub-amostras), duas por quadrante, em um raio de 3 m do ponto central, na profundidade de 0-0,2 m (adaptado de WOLLENHAUPT et al., 1994). Desta forma, foram realizadas duas coletas de solo (julho/agosto nos anos de 2012 e 2013), com auxílio de um trado manual. Os pontos amostrais foram localizados por um receptor GPS (GPS Trimble GeoExplorer XT 2005). As amostras foram colocadas em sacolas plásticas e enviadas para o laboratório de análise terceirizado (Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola - COODETEC) em Cascavel- PR, para determinação dos atributos químicos e textura.

Para realização das análises dos atributos físicos do solo, foi utilizado o método

do anel volumétrico em mesa de tensão (EMBRAPA, 1997). As amostras não deformadas de solo foram coletadas com auxílio de anel volumétrico com volume de (73,5 cm³).

A resistência à penetração do solo foi obtida com a utilização de um penetrômetro eletrônico da marca Falker SoloTrack PLG5300, realizou-se quatro medições no entorno do ponto definido na grade amostral, uma por quadrante, nas camadas 0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 m e de 0,30-0,40 m de profundidade, calculou-se a média das medições para representação do ponto. Para a determinação da altitude da área utilizou-se o instrumento eletrônico de medição de pontos espaciais, estação total eletrônica Topcon GPT-7505.

No experimento foi utilizado o híbrido de milho AG 9010 da Agrocere, semeado em 01 de fevereiro de 2013, com espaçamento de 50 cm entre linhas. Na linha da semeadura, foi realizada adubação com 200 kg ha⁻¹ de N-P-K com formulação 13-06-09 e após 20 dias da semeadura foi aplicado 200 kg ha⁻¹ de adubo de cobertura Sulfammo com formulação 46-00-00.

A produtividade de milho foi determinada nos mesmos pontos onde foram realizadas as amostragens de solo, demarcados com o auxílio de GPS. A colheita e a debulha foram feitas de forma manual. As amostras foram embaladas, identificadas e pesadas, para determinação da produtividade, com teor água corrigido para 12% por meio de um medidor eletrônico de umidade.

Para a análise do teor proteína, as amostras foram encaminhadas para o laboratório de química ambiental e instrumental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon. Para a determinação do teor protéico, foi conduzida pelo método Kjeldahl, descrito pela AOAC (2007), que mensura a quantidade total nitrogenada da amostra, por meio de uma digestão ácida. O nitrogênio da amostra é transformado em amônio (NH⁴), que posteriormente é separado por destilação e dosado pela titulação. Depois de determinado a quantidade total de nitrogênio, este é convertido em proteína pelo uso do fator 6,25.

A análise de lipídeos foi realizada no laboratório de Saneamento, na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Cascavel, pelo método de extração em aparelho extrator de Soxhlet, com solvente éter de petróleo de acordo com a Association of Official Analytical Chemists (Deutsch, 1995), adaptada por Oliveira (2003).

Determinados os atributos físicos e químicos do solo e os atributos produtividade, teor de proteína e teor de óleo do milho, os dados foram avaliados por meio de análise exploratória, com o objetivo de verificar a existência de tendência central e dispersão dos dados, com o software Minitab 16. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelos testes de Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de

significância. O coeficiente de variação (CV) foi considerado baixo, quando $CV \leq 10\%$ (homocedasticidade); médio, quando $10\% < CV \leq 20\%$; alto, quando $20\% < CV \leq 30\%$; e muito alto, quando $CV > 30\%$ (heterocedasticidade) (PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2002).

A seguir, os dados foram analisados por meio da geoestatística, para identificar a variabilidade espacial de cada atributo, conforme VIEIRA (2005), com o software ArcView 10, por meio de sua extensão para análise geoestatística (geoestatistical analyst). Foram então gerados os semivariogramas para cada atributo e calculados os índices de dependência espacial. A semivariância foi estimada pelo estimador clássico de Matheron (1963), padrão do software. Foram utilizados três modelos na geração dos semivariogramas (esférico, exponencial e gaussiano) e ajustados pelo método de ajuste de mínimos quadrados ordinários OLS (Ordinary Last Square) (CRESSIE, 1985), cujos pesos são iguais para todas as semivariância. Adotou-se o modelo isotrópico (semivariograma omnidirecional) com um cutoff de 50% da distância máxima seguindo recomendação de Teixeira e Scalón (2013). A seleção do melhor modelo ajustado foi realizada pelas estatísticas de validação cruzada e otimizada pelo índice de comparação de erros (ICE), método proposto por Souza et al. (2016). Ajustado o melhor modelo obteve-se os parâmetros de efeito pepita, patamar e alcance.

O índice de dependência espacial (IDE), utilizado para classificar a dependência espacial, foi obtido pelo procedimento apresentado por Cambardella et al. (1994) (Equação 2), que classifica a dependência espacial em forte ($IDE < 25\%$), moderada ($25\% < IDE < 75\%$) e fraca ($IDE > 75\%$).

$$IDE = \frac{C_0}{C_0 + C_1} * 100 \quad (2)$$

Em que:

IDE – índice de dependência espacial;

C0 – efeito pepita

C1 – contribuição

C0 + C1 = patamar

Para avaliar a correlação espacial entre atributos, foi utilizada a correlação cruzada (SCHEPERS, 2004; REICH, 2008), que visa avaliar se duas variáveis possuem correlação espacial. A matriz de correlação espacial foi gerada com o uso do software SDUM (Bazzi, 2011), adotando-se com 5% de significância com 999 iterações de cálculo.

Para a criação de mapas temáticos os dados foram interpolados por krigagem ordinária, que interpola os valores com as condições de estimativa sem tendenciosidade e com variância mínima em relação aos valores conhecidos, e considera a estrutura de variabilidade espacial encontrada para o atributo (GREGO; VIEIRA, 2005) (Equação 3)

$$\hat{Z}_i = \sum_{i=1}^n \lambda_i * Z_i \quad (3)$$

em que,

$\hat{Z}_i$ - é o valor interpolado;

λ_i - é o peso atribuído aos valores amostrais;

Z_i - é o valor do atributo amostrado;

n - é o número de localidades vizinhas empregadas para a interpolação do ponto,

sendo que o somatório dos pesos λ_i de ser igual a um.

Os dados de teor de proteína e teor de óleo foram correlacionados com os nutrientes, macronutrientes primários (P e K) e secundários (Ca e Mg), micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn), atributos químicos (MO, Al, pH, H+Al, SB, SMP e Sat. Al), físicos (RSP), textura (areia, silte e argila), altitude e produtividade, afim de avaliar quais atributos estão correlacionados com os parâmetros de qualidade da cultura e quais correlacionam espacialmente entre si.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar os macronutrientes (Tabela 1), observa-se que a variabilidade (CV) dos macronutrientes do solo para os anos de 2012 e 2013 variou de 17 a 72% na área A, e de 14 a 59% na área B. Segundo a classificação de Pimentel Gomes e Garcia (2002) os valores de CV indicaram na área A, média variabilidade nos dados para o atributo Ca, alta para o K e muito alta para o Mg e P, em 2012 e 2013. Na área B os valores de CV indicaram média variabilidade nos dados também para o atributo Ca, alta para Mg e K em 2013, e muito alta para P e K em 2012.

A variabilidade espacial dos atributos do solo é consequência de complexas interações dos fatores e processos pedogenéticos. Além disso o tipo de manejo do solo e da cultura, podem causar variabilidade adicional (CORÁ, 1997). A adubação foi apontada como a causa dos elevados valores do CV para P e Mg em estudo

desenvolvido por Souza et al., (2004).

Com exceção dos atributos Ca da área A em 2013 e o Mg da área B em 2012, que apresentaram distribuição assimétrica negativa, os atributos apresentaram distribuição assimétrica positiva, isto é, com a maioria dos valores concentrados abaixo da média.

Em relação ao coeficiente de curtose, parâmetro que indica o achatamento da distribuição de frequência dos dados, observa-se que na área A apresentaram distribuição platicúrtica (curva de distribuição alongada) os atributos Mg, P e F nos dois anos em estudo, e com distribuição leptocúrtica (curva de distribuição aguda) o atributo Ca, nos respectivos anos. Na área B o atributo P apresenta distribuição platicúrtica nos dois anos e os demais atributos apresentam distribuição leptocúrtica.

Os atributos apresentaram normalidade, com exceção dos atributos Ca e K. Em outras palavras, os atributos que apresentam distribuição normal valores de medidas de tendência central (média e mediana) próximos, indicando que os dados apresentam ou se aproximam da distribuição normal. Segundo Cambardella et al. (1994), a proximidade entre média e mediana, pode ser um indicativo de que as medidas de tendência central não são influenciadas por valores atípicos na distribuição e é um indicativo de possíveis ajustes dos dados destas variáveis à distribuição normal.

Tabela.1. Estatística exploratória dos macronutrientes do solo das áreas A e B para os anos de 2012 e 2013

Atributo	Ano	Área	Min	Média	Med.	Max	CV%	Assimetria	Curtose	N*
Ca	2012	A	4,2	6,3	6,2	8,7	16,9(m)	0,39(a)	-0,38(L)	
		B	3,0	5,7	5,6	7,9	17,5(m)	0,10(a)	0,04(L)	
	2013	A	3,0	5,7	5,9	8,0	19,6(m)	-0,53(b)	0,05(L)	
		B	3,8	6,0	6,0	7,8	14,1(m)	0,01(a)	-0,23(L)	
Mg	2012	A	0,3	2,4	2,2	12,1	71,7(ma)	4,89(a)	28,58(P)	**
		B	1,2	2,2	2,3	3,1	21,9(a)	-0,11(b)	-0,91(L)	**
	2013	A	0,6	1,8	1,6	4,0	39,9(ma)	1,01(a)	1,13(P)	**
		B	0,7	2,0	2,0	3,4	29,5(a)	0,12(a)	-0,25(L)	
P	2012	A	3,1	13,1	11,7	40,9	62,3(ma)	1,35(a)	2,22(P)	**
		B	4,2	15,0	13,1	43,3	59,0(ma)	1,25(a)	1,06(P)	**
	2013	A	2,0	10,8	9,6	32,3	58,8(ma)	1,57(a)	3,12(P)	**
		B	3,3	13,4	11,8	31,2	47,6(ma)	1,01(a)	0,59(P)	**
K	2012	A	0,2	0,7	0,6	1,1	28,0(a)	0,137(a)	0,676(P)	
		B	0,1	0,6	0,5	1,3	47,9(ma)	0,60(a)	0,08(L)	
	2013	A	0,3	0,6	0,6	1,1	24,9(a)	0,38(a)	1,13(P)	
		B	0,3	0,6	0,6	0,9	22,3(a)	0,12(a)	-0,66(L)	

Nota: Coeficiente de variação: baixo (b); médio (m); alto (a); muito alto (ma); Assimétrica positiva (a); • Assimétrica negativa (b); simétrica(s); Curtose: Leptocúrtica (L); Mesocúrtica (M); Platicúrtica (P); ** Seguem uma distribuição normal com base no teste de normalidade de Shapiro Wilk.

Os níveis dos teores dos macronutrientes do solo (Tabela 2) foram interpretados de acordo com Costa e Oliveira (2001). Verifica-se que na maioria dos pontos amostrais em ambos os anos os atributos Ca e Mg foram classificados como alto, o que revela que estes atributos não limitaram o desenvolvimento da cultura. Os níveis dos atributos P e K no solo em ambas as áreas, em pelo menos 70% dos pontos amostrais estão classificados como alto ou muito alto, valores suficientes para a produção da soja. Em casos de deficiência de P ($P < 8.0 \text{ Mg/dm}^{-3}$) é recomendada a fosfatagem.

A absorção de potássio depende da disponibilidade de cálcio (Ca) e de magnésio (Mg) no solo (COAMO; COODETEC, 2001 e SALVADOR et al., 2011). Pode-se verificar que o solo apresentou alta disponibilidade de potássio, pois as análises de cálcio mostram valores altos, tanto quanto as análises de magnésio, sendo assim, é possível que a planta absorva potássio ($K \geq 0.31 \text{ K (cmolc dm}^{-3})$).

Tabela 2 Níveis de interpretação dos macronutrientes do solo das áreas A e B 2012 e 2013

Atributos	Ano	Área	Classificação - Níveis				
			Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Ca (cmolc/dm ⁻³)				≤2.0	2.1-4.0	>4.0	
Ca encontrado %	2012	A		0%	0%	100%	
		B		0%	2.7%	97.2%	
	2013	A		0%	9.7%	90.2%	
		B		0%	1.3%	98.6%	
Mg (Mg/dm ²)				<0.5	0,6-1,0	>1.0	
Mg encontrado %	2012	A		2.3%	2.3%	95.2%	
		B		0%	0%	100%	
	2013	A		0%	7.3%	92.6%	
		B		0%	4.1%	95.8%	
P (Mg/dm ⁻³)				≤ 3,0	3,1 -6,0	6,1 -9,0	> 9,0
P encontrado %	2012	A	0%	16.6%	11.9%	23.8%	47.6%
		B	0%	5.4%	17.8%	23.2%	53.4%
	2013	A	2.4%	12.1%	19.5	39.0%	26.8%
		B	0%	4.1%	13.6%	39.7%	42.4%
K (cmolc/ dm ⁻³)			≤ 0,10	0,11 -0,20	0,21 - 0,30	> 0,30	≤ 0,10
K encontrado %	2012	A	0%	2.3%	0%	45.2%	52.3%
		B	0%	5.4%	10.9%	45.2%	38.3%
	2013	A	0%	0%	2.4%	39.0%	58.5%
		B	0%	0%	0%	54.7%	45.2%

Fonte: Fertilidade do Solo e Nutrição de plantas (Costa e Oliveira, 2001).

Os parâmetros estimados dos semivariogramas ajustados aos modelos teóricos que melhor descreveram o comportamento da variabilidade espacial dos atributos estudados estão apresentados na Tabela 3.

Assim verifica-se que a dependência espacial dos dados (a) se deu em um raio que variou de 54 m até 716 m.

Observa-se que o modelo Gaussiano foi ajustado para Ca (2012 A; 2012 B; 2013 B), Mg (2012 A e 2013 B) e K (2012 e 2013 para área A); Esférico para Ca (2013 A), Mg (2012 B e 2013 A), P (2012 A); e Exponencial para os demais conjuntos de dados. Verifica-se dependência espacial classificada como Fraca para Ca (2012 A, 2012B e 2013 B), Mg (2012 B e 2013 A) e K (2012 A) e os demais atributos foram classificados com dependência espacial Moderada.

Tabela 3 Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para os macronutrientes do solo nas áreas experimentais para os anos de 2012 e 2013.

Atributo	Ano	Área	C0	C0+C1	C1	a(m)	Modelo	IDE (%)
Ca cmolc/dm ³	2012	A	1,10	1,12	0,02	122	Gaussiano	97,6 (Fa)
		B	0,83	1,02	0,18	184	Gaussiano	81,4 (Fa)
	2013	A	0,68	1,27	0,59	54	Esférico	53,6 (Mo)
		B	0,59	0,72	0,13	226	Gaussiano	81,8 (Fa)
Mg Mg/dm ³	2012	A	1,47	4,59	3,11	379	Gaussiano	32,1 (Mo)
		B	0,23	0,24	0,001	110	Esférico	99,4 (Fa)
	2013	A	0,42	0,51	0,08	248	Esférico	83,6 (Fa)
		B	0,27	0,43	0,15	716	Gaussiano	64,3 (Mo)
P Mg/dm ³	2012	A	36,95	87,73	50,78	379	Esférico	42,1 (Mo)
		B	50,75	82,08	31,33	188	Exponencial	61,8 (Mo)
	2013	A	28,95	44,32	15,37	352	Exponencial	65,3 (Mo)
		B	15,43	50,61	35,17	716	Exponencial	30,5 (Mo)
K cmolc /dm- 3*	2012	A	0,03	0,038	0,005	379	Gaussiano	84,3 (Fa)
		B	0,05	0,08	0,03	716	Exponencial	62,8 (Mo)
	2013	A	0,01	0,02	0,001	352	Gaussiano	69,4 (Mo)
		B	0,009	0,018	0,009	116	Exponencial	50,2 (Mo)

Nota: C0 = Efeito Pepita; C1 Sill; C0+C1 = Patamar; a = Alcance; IDE = Índice de dependência espacial; Fa = Fraca; Moderada = Mo; Forte (Fo).

Por influência do interpolador krigagem, que possui a característica de reduzir os valores de máximo e aumentar os valores de mínimo (BAZZI, 2010 e COELHO, 2008), na avaliação dos mapas temáticos, valores classificados como baixos ou médios para Mg e Ca não foram apresentados. Este fato também ocorreu para o P e o K, que apesar de apresentarem classificação muito baixa e muito alta, na interpretação obtida por meio da classificação pontual, não foram apresentados nos mapas gerados. Neste sentido, problemas pontuais, normalmente que ocorrem em áreas menores, podem ser omitidos quando se avalia a fertilidade do solo somente fazendo uso de mapas temáticos. Verificou-se menor mobilidade do K considerando a diferença entre os mapas gerados entre os anos (Figura 3).

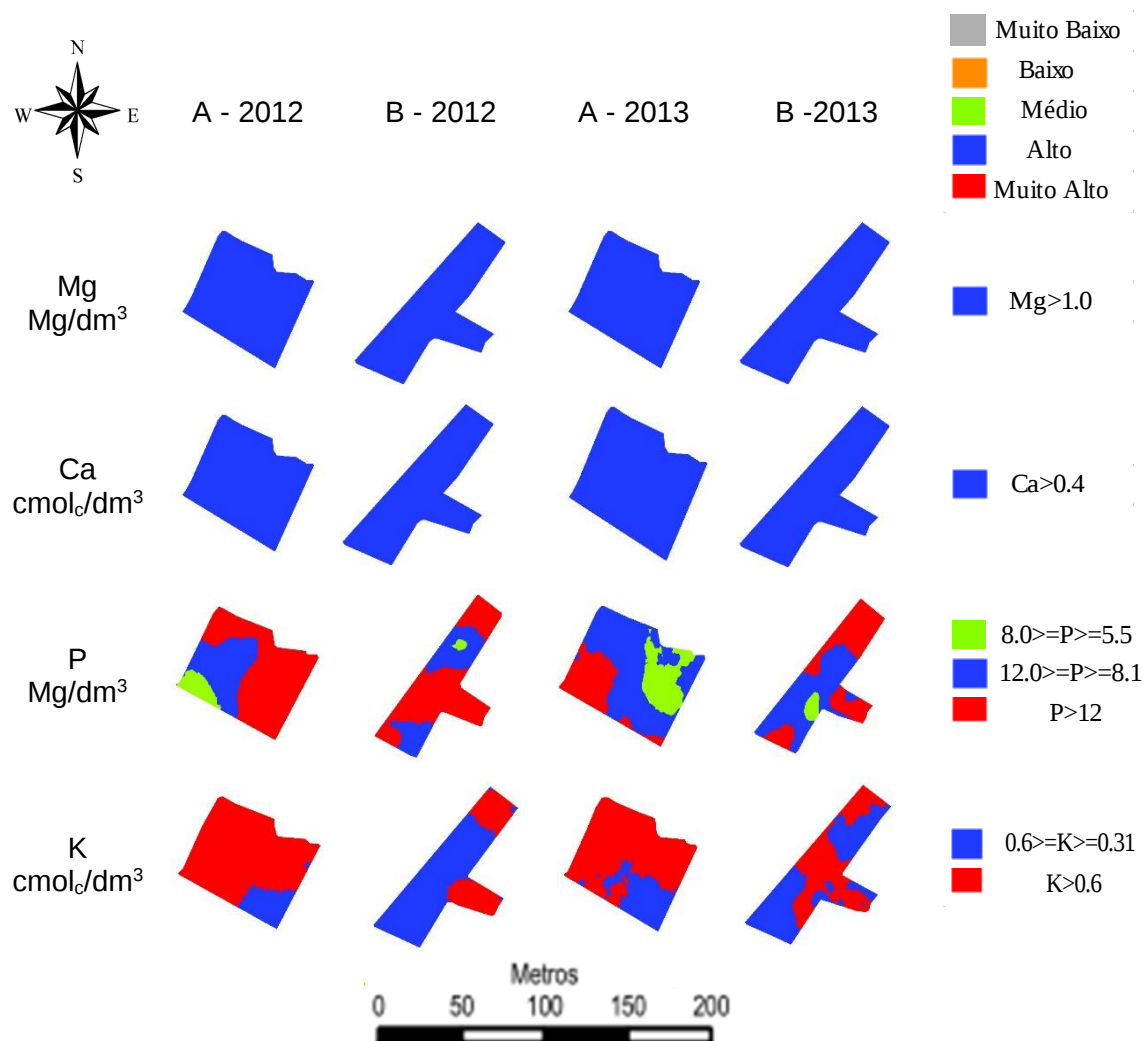


Figura 3 Mapas temáticos dos macronutrientes.

Em relação aos micronutrientes do solo (Tabela 4), observa-se que a variabilidade dos atributos variaram de média a muito alta, de 10,5% a 52,9 % na área A e 11,1% a 69% na área B. Os valores dos CV indicam variabilidade média para Mn, variabilidade alta para Cu e Fe (2013 B) e variabilidade muito alta para Zn e Fe (2012 AB e 2013 A).

No que se refere a medida de forma, os atributos Fe, Zn e Cu (2012 B) foram classificados com distribuição assimétrica positiva e Mn e Cu (2012 e 2013 A) foram classificados com distribuição assimétrica negativa.

O atributo Cu exceto em (2012 A, que apresentou distribuição platicúrtica) e Zn (2013 A) foram classificados com distribuição leptocúrtica. Fe, Mg e Zn (2012 AB, 2013 B) foram classificados com distribuição platicúrtica (curva de distribuição alongada).

Os atributos que apresentaram normalidade nos dados pelos testes de Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de significância foram: Cu (2012 B e 2013 B); Fe (2013 B) e Zn (2013 B).

Tabela 4. Estatística exploratória dos micronutrientes das áreas A e B para os anos de 2012 e 2013

Atributo	Ano	Área	Min	Média	Med.	Max	CV	As	Cur	N*
Cu Mg/dm ³	2012	A	3,49	3,49	11,05	14,35	25,9(a)	-0,7(b)	-0,34(L)	**
		B	5,64	5,64	8,77	13,85	20,3(a)	0,39(a)	-0,60(L)	
	2013	A	2,73	2,73	7,49	10,68	21,6(a)	-0,8(b)	2,10(P)	**
		B	4,01	4,01	7,15	11,02	20,0(a)	0,13(a)	0,07(L)	
Fe g/Kg	2012	A	21,11	53,20	48,63	122,67	42,7(ma)	1,24(a)	1,64(P)	**
		B	13,22	33,47	29,86	214,29	67,9(ma)	7,14(a)	57,13(P)	
	2013	A	22,60	35,58	32,37	90,11	36,5(ma)	2,21(a)	7,18(P)	**
		B	13,59	23,97	22,88	47,69	25,5(a)	0,94(a)	1,90(P)	
Mn Mg/Kg ⁻¹	2012	A	91,38	191,70	198,02	213,63	14,6(m)	-2,9(b)	8,06(P)	**
		B	104,07	179,75	182,77	233,58	11,1(m)	-1,2(b)	3,19(P)	
	2013	A	138,96	201,06	207,93	231,18	10,5(m)	-1,4(b)	1,71(P)	**
		B	0,00	207,41	211,04	240,76	13,5(m)	-5,7(b)	41,61(P)	
Zn Mg/dm ³	2012	A	1,31	2,91	2,64	7,93	38,8(ma)	2,30(a)	8,64(P)	**
		B	0,40	2,15	2,00	9,02	65,3(ma)	3,14(a)	12,62(P)	
	2013	A	0,18	2,05	2,07	4,40	52,9(ma)	0,23(a)	-0,90(L)	**
		B	0,37	2,35	2,03	13,39	69,0(ma)	4,54(a)	29,48(P)	

Nota: Coeficiente de variação: baixo (b); médio (m); alto (a); muito alto (ma); Assimétrica positiva (a); • Assimétrica negativa (b); simétrica(s); Curtose: Leptocúrtica (L); Mesocúrtica (M); Platicúrtica (P); ** Seguem uma distribuição normal com base no teste de normalidade de Shapiro Wilk.

Na interpretação dos micronutrientes (Tabela 5) segundo (Costa e Oliveira (2001) verifica-se que Cu, apresenta-se como alto para ambos os anos e áreas. Já o Fe, pode ser classificado como médio em praticamente toda a área, exceto em (2012, A) que apresenta-se como alto.

A disponibilidade de Mn no solo apresenta-se em 100% como alto, o indica que este elemento se encontra em quantidade suficiente para cultivo do milho. O Zn na maior parte da área apresenta-se como baixo.

Tabela 5. Níveis de interpretação dos micronutrientes do solo

Atributos	Ano	Área	Classificação - Níveis				
			Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Cu (Mg/dm³)				<0,8	0,8 - 1,7	>1,7	
Cu encontrado %	2012	A				100%	
		B				100%	
	2013	A				100%	
		B				100%	
Fe (g/Kg)				<15,0	15,0 – 40,0	>40	
Fe encontrado %	2012	A			31,0%	69,0%	
		B	1,7%		96,4	1,8%	
	2013	A	0,0%		73,7%	29,3%	
		B	4,1%		94,5%	1,4%	
Mn (Mg/Kg ⁻¹)				<15,0	15,0 – 30,0	>30	
Mn encontrado %	2012	A				100%	
		B				100%	
	2013	A				100%	
		B				100%	
Zn (Mg/dm³)				<30,	3,0 – 7,0	>7,0	
Zn encontrado %	2012	A		60,9%	39,0%	2,4%	
		B		87,6%	9,6%	2,7%	
	2013	A		80,4%	19,5		
		B		79,4%	17,8%	2,7%	

Fonte: Fertilidade do Solo e Nutrição de plantas (Costa e Oliveira, 2001).

Quanto aos parâmetros dos semivariogramas (Tabela 6), verifica-se que o maior alcance é do atributo Fe (2013, B) 716 m e o menor do atributo Mn (2013, A) 54 m. Para Cu (2012 A, 2013 B) e Mn (2012 B) o modelo que melhor se ajustou foi o gaussiano, assim como o esférico para Fe (2013 A e 2013 B), Mn (2013 A) e Zn (2013 B) e exponencial para os demais.

Na análise de dependência espacial dos micronutrientes verifica-se que o IDE foi considerado forte apenas para Mn (2012 A) e para Zn (2013 A), moderado para Cu (2012 B, 2013 A e 2013 B), Fe (2013 A), Mn (2012 B, 2013 A e 2013 B) e fraco para os demais atributos, com efeito pepita puro (IDE=100%) em Mn (2013 B) e Zn (2012 A).

Tabela 6. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para os micronutrientes do solo nas áreas experimentais para os anos de 2012 e 2013

Atributo	Ano	Área	C0	C0+C1	C1	a (m)	Modelo	IDE
Cu Mg/dm ³	2012	A	5,619	7,160	1,540	58	Gaussiano	78,4% (Fa)
		B	2,451	3,824	1,372	194	Gaussiano	64,1% (Mo)
	2013	A	1,726	2,683	0,9565	54	Exponencial	64,3% (Mo)
		B	1,587	2,483	0,8953	635	Gaussiano	63,9% (Mo)
Fe g/Kg	2012	A	412,0	519,0	107,0	61	Exponencial	79,3% (Fa)
		B	458,7	562,4	103,7	716	Exponencial	81,5% (Fa)
	2013	A	110,7	206,7	95,97	352	Esférico	53,5% (Mo)
		B	32,72	42,30	9,588	716	Esférico	77,3% (Fa)
Mn	2012	A	69,2	873,3	804,1	159	Exponencial	7,9% (Fo)
		B	237,1	565,1	328,0	716	Gaussiano	41,9% (Mo)
	2013	A	242,4	446,5	204,1	54	Esférico	54,2% (Mo)
		B	812,5	812,5	0,0	686	Exponencial	100,0% (Fa)
Zn Mg/dm ³	2012	A	1,277	1,277	0,000	363	Exponencial	100,0% (Fa)
		B	1,870	1,978	0,107	484	Esférico	94,5% (Fa)
	2013	A	0,000	1,413	1,413	118	Exponencial	0,0% (Fo)
		B	1,180	3,624	2,442	334	Exponencial	32,5% (Mo)

Nota; C0 = Efeito Pepita; C1 Sill; C0+C1 = Patamar; a = Alcance; IDE = Índice de dependência espacial; Fa = Fraca; Moderada = Mo; Forte (Fo).

Ao analisar os mapas temáticos dos micronutrientes (Figura 4) percebe-se que estes foram classificados em uma única classe (alto ou baixo) com certa estabilidade em função dos anos. Da mesma forma que ocorreu com os macronutrientes, os interpoladores suavizaram os dados, o que impossibilita interpretações de pequenas deficiências nestes nutrientes.

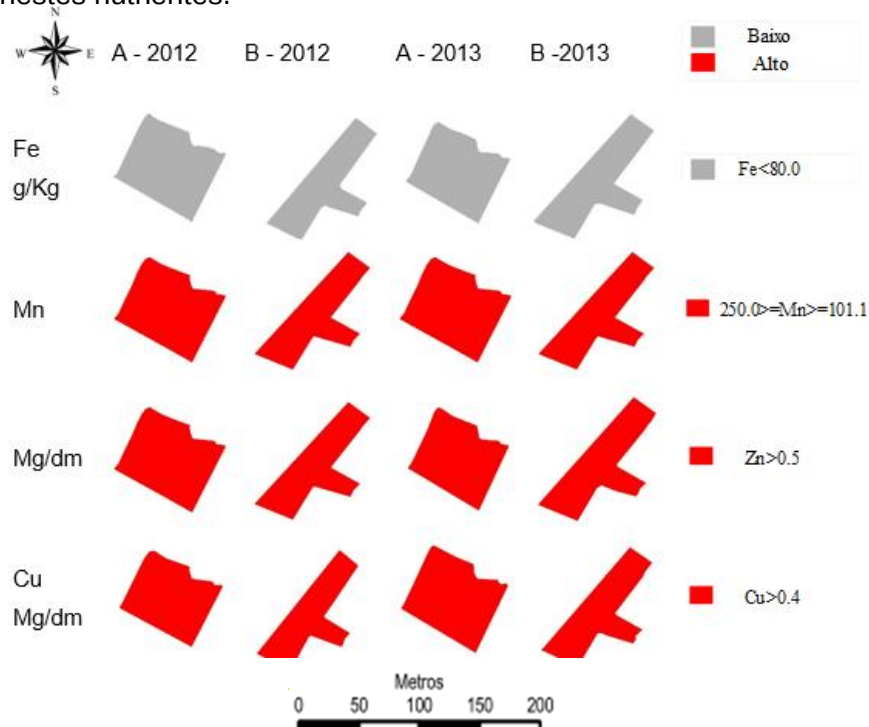


Figura 4. Mapas temáticos dos micronutrientes no solo para os anos 2012 e 2013

O SMP é um método para determinação da necessidade de calagem, cujas iniciais são nomes dos pesquisadores que desenvolveram tal método (Shoemaker, Mc Lean e Pratt). Este índice indica, a quantidade de calcário necessário para elevar o pH do solo a valores de 5,5 ou 6,0 ou 6,5 (SHOEMAKER, et al., 1961).

Observa-se que o pH (Tabela 7) e o índice SMP apresentam baixa variabilidade. Segundo Santo et al. (2001), o pH do solo geralmente apresenta CV baixo, pois apresenta escala logarítmica, assim, grandes variações nas concentrações hidrogeniônicas na solução do solo resultam em pequenas variações no valor do pH.

A soma de bases também apresenta variabilidade baixa nos dados. Resultados similares foram encontrados por Bazzi (2011) que também trabalhou em um Latossolo Vermelho Distroférrico típico com elevados teores de argila, com cultivo de soja. Os demais atributos (Al e Sat. Al) apresentam CV muito alto, o que indica heterogeneidade nos dados analisados.

Ao analisar as medidas de forma, observa-se que os atributos MO (2012 B) e Al, pH exceto (2013, B), H+Al (2013, A B), SB (2012, A B), SMP (2012, A B) e Sat. Al foram classificados com distribuição assimétrica positiva. Os demais demonstram distribuição assimétrica negativa.

Em relação ao coeficiente de curtose, os atributos MO (2012 A), pH exceto em (2012, A), H+Al (2012, B e 2013, A), SB (2012, B) e SMB (2013, A B) apresentaram distribuição leptocúrtica e os demais platicúrtica.

Não apresentaram normalidade nos dados a 5% de significância os atributos pelos testes de Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov os atributos Al, H+AL, SMP (2012, A B) e Sat. Al.

Tabela 7. Estatística exploratória dos atributos químicos do solo das áreas A e B para os anos de 2012 e 2013

Atributo	Ano	Área	Min	Média	Med.	Max	CV	As	Cur	N*
MO	2012	A	21,44	31,40	32,17	41,55	14,7(m)	-0,1(b)	-0,53(L)	
		B	2,68	22,25	21,44	68,35	46,4(ma)	1,20(a)	4,41(P)	
	2013	A	16,08	35,31	36,19	48,25	20,2(a)	-0,7(b)	0,33(P)	
		B	16,08	39,11	40,21	53,61	21,0(a)	-0,6(b)	0,49(P)	
Al	2012	A	0,00	0,03	0,00	0,21	187,3(ma)	2,01(a)	3,41(P)	**
		B	0,00	0,06	0,02	0,75	180,9(ma)	3,66(a)	17,82(P)	**
	2013	A	0,00	0,02	0,00	0,14	178,5(ma)	1,99(a)	3,76(P)	**
		B	0,00	0,01	0,00	0,15	246,9(ma)	2,82(a)	8,37(P)	**
pH	2012	A	4,50	5,07	5,1	6,10	6,4(b)	0,49(a)	1,04(P)	
		B	4,10	4,92	4,90	5,70	7,0(b)	0,03(a)	-0,77(L)	
	2013	A	4,34	5,13	5,10	6,00	7,2(b)	0,16(a)	-0,22(L)	
		B	4,40	5,26	5,30	6,20	8,0(b)	-0,1(b)	-0,50(L)	
H+Al ³	2012	A	2,95	4,26	4,28	5,35	12,2(m)	-0,2(b)	0,30(P)	**
		B	2,95	6,09	6,21	9,00	24,0(a)	-0,5(b)	-0,41(L)	**
	2013	A	2,54	3,48	3,42	4,61	16,1(m)	0,41(a)	-0,62(L)	**
		B	2,07	3,36	3,42	4,96	16,3(m)	0,33(a)	0,19(P)	**
SB	2012	A	5,79	9,04	9,06	13,66	17,8(m)	0,43(a)	0,44(P)	
		B	4,50	8,47	8,15	11,65	17,7(m)	0,02(a)	-0,26(L)	
	2013	A	4,53	8,11	7,96	11,98	18,9(m)	-0,1(b)	0,13(P)	
		B	5,10	8,57	8,61	10,77	13,5(m)	-0,3(b)	0,17(P)	
SMP	2012	A	5,90	6,22	6,2	6,7	2,7(b)	0,58(a)	0,84(P)	**
		B	5,20	5,77	5,70	6,70	6,3(b)	0,98(a)	0,09(P)	**
	2013	A	6,10	6,50	6,50	6,90	3,3(b)	-0,1(b)	-0,84(L)	
		B	6,00	6,53	6,50	7,00	3,2(b)	-0,2(b)	-0,29(L)	
Sat. Al%	2012	A	0,00	0,42	0,00	3,5	197,6(ma)	2,35(a)	5,53(P)	**
		B	0,00	0,94	0,27	14,29	215,7(ma)	4,73(a)	27,61(P)	**
	2013	A	0,00	0,29	0,00	2,17	184,4(ma)	2,04(a)	3,65(P)	**
		B	0,00	0,17	0,00	2,86	268,7(ma)	3,72(a)	16,66(P)	**

Nota: Coeficiente de variação: baixo (b); médio (m); alto (a); muito alto (ma); Assimétrica positiva (a); • Assimétrica negativa (b); simétrica(s); Curtose: Leptocúrtica (L); Mesocúrtica (M); Platicúrtica (P); ** Seguem uma distribuição normal com base no teste de normalidade de Shapiro Wilk.

A MO encontrada na área B (2012/13) variou de muito baixo para muito alta, com a maior parte dos pontos amostrais classificados como baixo. Porém no ano seguinte houve melhora na disponibilidade deste atributo, com a maioria dos pontos classificados como alto (Tabela 8).

O teor de Al encontrado no solo, não é um fator preocupante, visto que apenas acima de 1,0 mg dm⁻³ é considerado elevado e prejudicial ao crescimento das plantas.

A acidez do solo é determinada pelo nível de pH, que indica a acidez neutralidade ou alcalinidade de uma solução aquosa. Segundo COSTA e OLIVEIRA (2001) a faixa de pH ideal dos solos para a agricultura é entre 5,5 e 6,5. Isto porque é

nesta faixa que os nutrientes ficam mais disponíveis às plantas, ou seja, na solução do solo.

Tabela 8 Níveis de interpretação dos atributos químicos do solo.

Atributos	Ano	Área	Classificação - Níveis				
			Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
MO			<14,0	15,0 – 25,0	26,0 – 35,0	36,0 – 60,0	>61,0
MO encontrado %	2012	A		16,66%	57,14%	21,53%	
		B	24,65%	41,09%	27,39%	6,84%	1,36%
	2013	A		14,63%	36,58%	51,21%	
		B		5,47	26,02	69,86	
Al (mg dm ⁻³)			<0,10	0,11 – 0,50,	0,51 – 1,0	1,1 – 2,0	>2,1
Al encontrado %	2012	A	85,71%	14,28%			
		B	78,08	20,54	1,36		
	2013	A	92,85%	4,76%			
		B	97,26%	2,73%			
H+Al ³			<1,0	1,1-2,5	2,6-5,0	5,1-9,0	>9,0
H+Al ³ encontrado	2012	A			95,23%	4,70%	
		B			24,65%	75,34%	
	2013	A			100%		
		B		4,1%	95,89%		
Sat. Al			<1,0	1,1-10,0	10,1-20,0	>20,01	
Sat. Al encontrado	2012	A	80,95%	19,05%			
		B	75,34%	23,28%	1,36%		
	2013	A	87,80%	12,19%			
		B	97,26%	2,73%			
Acidez (pH)			<4,30	4,31 -5,00	5,01 – 5,50	5,51 – 6,00	>6,01
Acidez encontrado	2012	A		83,3%	16,6%		
		B	1,37%	84,93%	16,70%		
	2013	A		70,73%	29,26%		
		B		58,90%	41,09%		
SMP				<5,3		>5,3	
SMP encontrado	2012	A		100%			
		B		95,89%		4,10	
	2013	A		100%			
		B		100%			
SB			<0,60	0,61-1,80	1,81- 3,60	3,61-6,0>	>6,1
Soma de bases encontrado	2012	A				2,38%	97,61%
		B				4,1%	95,89%
	2013	A				2,73%	97,26%
		B				9,75%	90,24%

Fonte: Fertilidade do Solo e Nutrição de plantas (Costa e Oliveira, 2001).

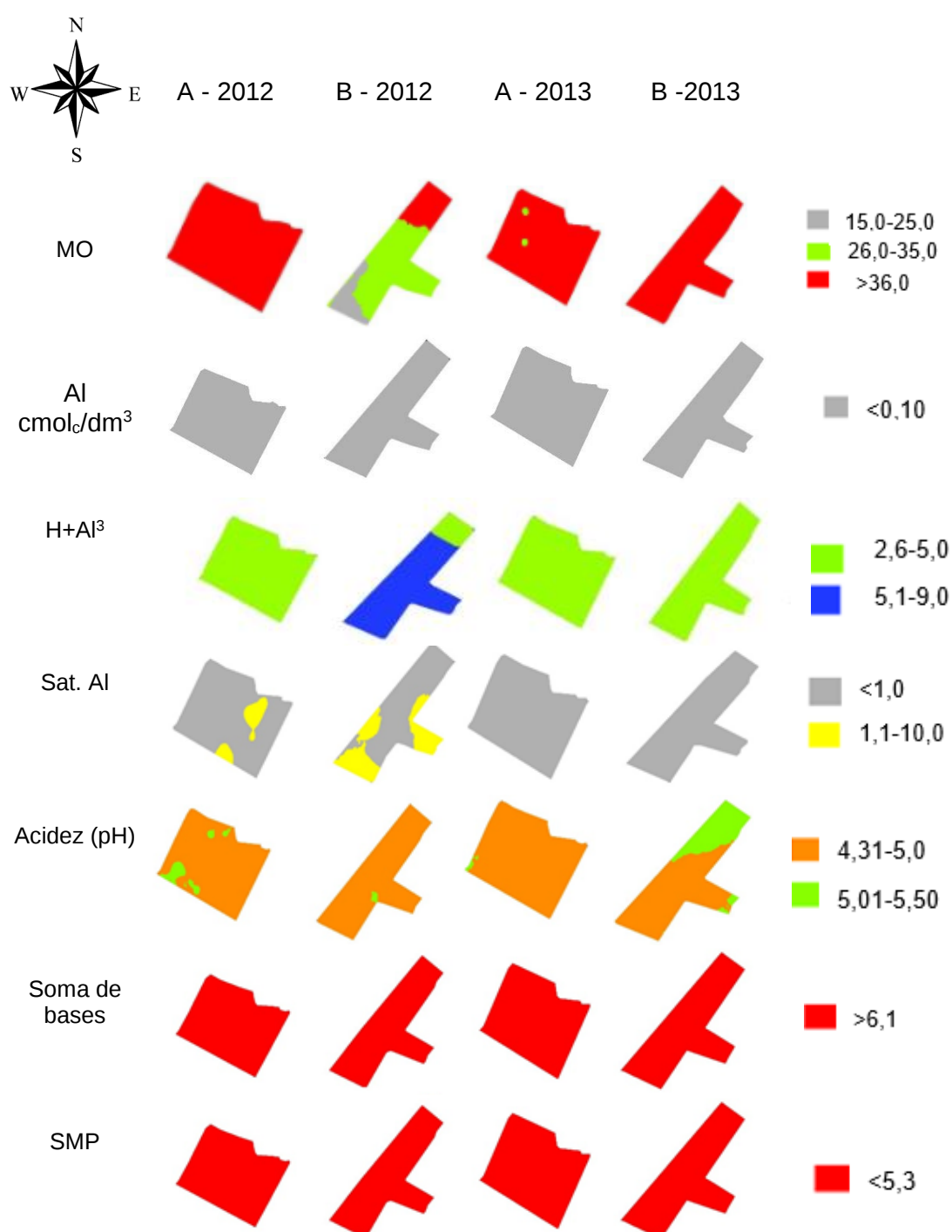


Figura 5. Mapas temáticos dos atributos químicos do solo para os anos 2012 e 2013

Na análise de dependência espacial (Tabela 9), foram ajustados os modelos gaussiano para MO (2012 A), Al (área B), SB (2013 B) e Sat.Al (2012 B.) Esférico para MO (2012 B), pH (2012 A), H+Al (2012 B), SB (2012 B e 2013 A) e SMP (2012 B). O modelo exponencial foi ajustado para os demais atributos.

Verifica-se forte dependência espacial para MO (2013 A), pH (2012 A), H+Al (2012 B), SMP (2012 B) e Sat.Al (2012 A). Moderada para MO (2012 B), Al, pH (B), H+Al (2013 B), SB (2013 AB), SMP (2013 B) e Sat. Al (2012 B) e (2013 AB). Os demais atributos apresentam dependência espacial fraca com efeito pepita em MO (2013 B), pH (2013 A), H+Al (2013 A), SB (2012 A) e SMP (2013 A).

O maior alcance corresponde ao atributo H+Al (2012, B) 786 m e o menor ao atributo pH (2012, A) 40 m.

Tabela 9. Estatística exploratória e dependência espacial dos micronutrientes do solo nas áreas experimentais para os anos de 2012 e 2013

Atributo	Ano	Área	C0	C0+C1	C1	a(m)	Modelo	IDE
MO	2012	A	19,024	24,451	5,4272	379	Gaussiano	77,8% (Fa)
		B	52,401	164,101	111,7	716	Esférico	31,9% (M)
	2013	A	0,000	56,646	56,646	91	Exponencial	0,0% (Fo)
		B	68,271	68,271	0,000	-	efeito pepita puro	100,0% (Fa)
Al	2012	A	0,001	0,003	0,002	88	Exponencial	28,2% (M)
		B	0,008	0,016	0,008	427	Gaussiano	54,6% (M)
	2013	A	0,001	0,001	0,000	352	Exponencial	68,3% (M)
		B	0,001	0,001	0,001	677	Gaussiano	48,9% (M)
pH	2012	A	0,000	0,108	0,108	40	Esférico	0,0% (Fo)
		B	0,048	0,120	0,072	73	Exponencial	39,9% (M)
	2013	A	140	140,00	0,000	-	efeito pepita puro	100,0% (Fa)
		B	0,128	0,206	0,078	716	Exponencial	62,2% (M)
H+Al ³	2012	A	0,223	0,296	0,074	786	Exponencial	75,2% (Fa)
		B	0,645	3,223	2,578	716	Esférico	20,0% (Fo)
	2013	A	0,316	0,316	0,000	-	efeito pepita puro	100,0% (Fa)
		B	0,202	0,352	0,150	716	Exponencial	57,4% (M)
Soma de Bases	2012	A	80,816	80,816	0,000	-	efeito pepita puro	100,0% (Fa)
		B	2,060	2,291	0,231	336	Esférico	82,9% (Fa)
	2013	A	1,388	2,376	0,988	54	Esférico	58,4% (M)
		B	0,977	1,404	0,427	258	Gaussiano	69,5% (M)
SMP	2012	A	0,023	0,031	0,008	379	Exponencial	73,3% (M)
		B	0,034	0,201	0,168	716	Esférico	16,7% (Fo)
	2013	A	0,047	0,047	0,000	-	efeito pepita puro	100,0% (Fa)
		B	0,026	0,048	0,022	257	Exponencial	53,9% (M)
Sat. Al%	2012	A	0,129	0,757	0,628	114	Exponencial	17,0% (Fo)
		B	2,357	5,124	2,767	448	Gaussiano	46,0% (M)
	2013	A	0,237	0,316	0,079	352	Exponencial	75,0% (M)
		B	0,116	0,317	0,202	258	Gaussiano	36,4% (M)

Nota: C0 = Efeito Pepita; C1 Sill; C0+C1 = Patamar; a = Alcance; IDE = Índice de dependência espacial; Fa = Fraca; Moderada = Mo; Forte (Fo).

Quanto à textura do solo (Tabela 10) observa-se existência de variabilidade média a alta nos teores de areia, argila e silte dentro das áreas experimentais. O mesmo

ocorreu em estudos feitos por Souza et al. (2003); Souza et al. (2004) e Konopatzki (2011) que também observaram a existência de variabilidade destes atributos em áreas consideradas homogêneas, em uma única classe de solo.

Tabela 10. Estatística exploratória da textura do solo nas áreas experimentais ano 2012

Atributo	Ano	Área	Min	Média	Med.	Max	CV%	Assimetria	Curtose	N*
Areia	2012	A	0,0	3,2	3,1	9,0	67,4(ma)	0,53(a)	-0,33(L)	
		B	0,4	2,0	1,5	23,5	132,8(ma)	7,3(a)	58,9(P)	**
Argila	2012	A	37,6	69,5	70,9	79,3	11,4(m)	-1,9 (b)	5,4(P)	**
		B	61,1	76,2	76,3	84,1	4,5(b)	-1,6(b)	6,9(P)	*
Silte	2012	A	15,8	26,9	24,2	62,2	33,3(ma)	1,7(a)	4,8(P)	**
		B	2,7	21,7	21,8	37,8	18,1(m)	-0,1(b)	12,1(P)	**

Nota: Coeficiente de variação: baixo (b); médio (m); alto (a); muito alto (ma); Assimétrica positiva (a); • Assimétrica negativa (b); simétrica(s); Curtose: Leptocúrtica (L); Mesocúrtica (M); Platicúrtica (P); ** Seguem uma distribuição normal com base no teste de normalidade de Shapiro Wilk.

De acordo com a classificação textural do solo de (LEMOS; SANTOS, 1984) o solo foi classificado como muito argiloso nas duas áreas experimentais, com média 3,2% de areia, 69,9% de argila e 26,9% de silte na área A. Na área B, os teores apresentam-se com 2,0% de areia, 76,2% de argila e 21,7% de silte (Figura 6).

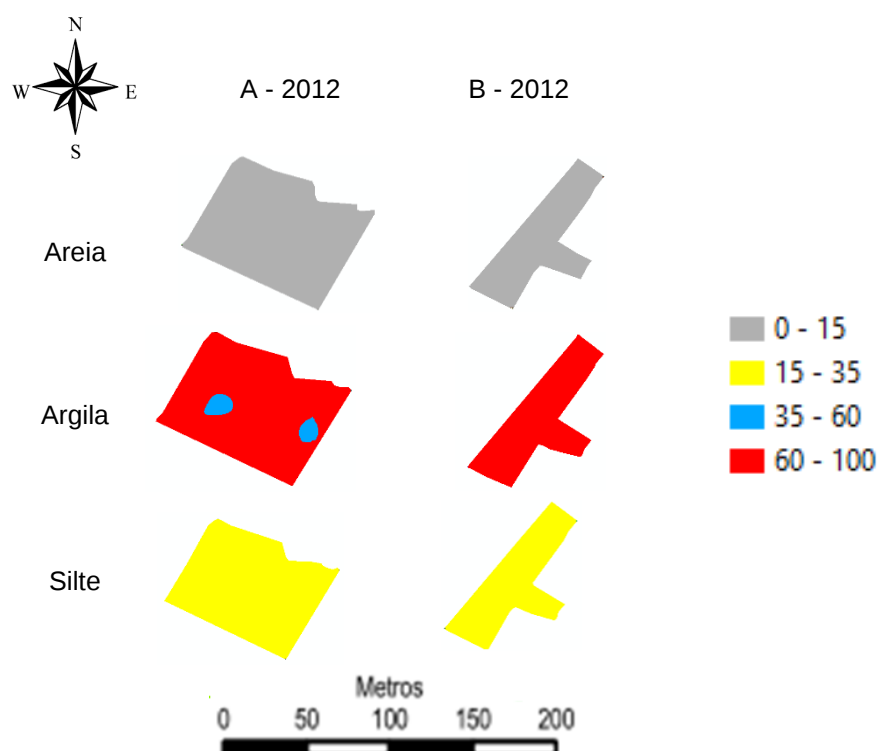


Figura 6. Mapas temáticos de textura 2012

Quanto a dependência espacial, verifica-se que apenas a argila apresentou IDE considerado forte, com alcance de 363 m na área A e 664 m na área B e como melhor ajustado o gaussiano. Os demais (areia e silte) atributos apresentam IDE fraco, com efeito pepita puro (IDE=100%, Tabela 11).

Tabela 11. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para textura do solo nas áreas experimentais ano de 2012.

Atributo	Ano	Área	C0	C0+C1	C1	a(m)	Modelo	IDE
Areia	2012	A	4,826	4,826	0,000	-	efeito pepita puro	100,0% (Fa)
		B	6,706	6,706	0,000	-	efeito pepita puro	100,0% (Fa)
Argila	2012	A	0,000	77,848	77,848	58	Esférico	0,0% (Fo)
		B	10,921	13,036	2,115	525	Gaussiano	83,7% (Fa)
Silte	2012	A	80,816	80,816	0,000	-	efeito pepita puro	100,0% (Fa)
		B	15,062	15,062	0,000	-	efeito pepita puro	100,0% (Fa)

Nota: C0 = Efeito Pepita; C1 Sill; C0+C1 = Patamar; a = Alcance; IDE = Índice de dependência espacial; Fa = Fraca; Moderada = Mo; Forte (Fo).

Segundo CAMABARDELLA et al. (1994), os atributos que apresentam forte dependência espacial são mais influenciados por propriedades intrínsecas do solo, como textura e mineralogia. Por outro lado, o que apresenta, fraca dependência são mais influenciados por fatores externos, como aplicações de fertilizantes e pelo manejo solo.

A estatística descritiva da produtividade de grãos de milho, proteína e óleo, das duas áreas em estudo, safra 2014, está exposta na Tabela 12. A produtividade apresentou valores CV classificados como médio nas duas áreas. O valores médios da produtividade, são satisfatórios, com médias 10,41t ha⁻¹ na área A e 8,42 t ha⁻¹ na área B, médias superiores a do estado (6,107 t ha⁻¹) e também da média nacional (5,057 t ha⁻¹) safra 2013/14. Esses resultados podem estar atrelado a normalidade climática no período de desenvolvimento das lavoura, que colaborou para a boa produção. A temperatura média anual foi de (22,7 °C) com umidade relativa (74,9%) e precipitação acumulada de (173,58 mm)

A produção apresentou média variabilidade nos dados, com distribuição normal pelos testes de Anderson-Darling e Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5% de significância, e apresentou distribuição assimétrica negativa e platicúrtica na área A e leptocúrtica na área B.

A proteína variou de 5,47 % a 22,43 %, com média de 12,12 % na área A e variou de 4,93% a 24,34 % com média de 13,98 % na área B. Esses resultados diferem de Leão et al., (2012), que avaliaram a qualidade de grão de milho de duas cultivares

convencionais e de duas transgênicas em uso pelos agricultores na região Norte do Estado de São Paulo. Os teores de proteína nas cultivares transgênicas variaram de 7,44 a 8,25%, enquanto que nas cultivares convencionais variaram de 7,94% a 8,37%.

Em levantamentos realizados em municípios da região oeste do Paraná, constatou-se que o teor de proteína, apresentou média, valor mínimo e máximo de 10,32; 8,39 e 13,32%, respectivamente (Schmidt et al., 2004).

Em ambas as áreas, a proteína apresenta distribuição assimétrica positiva e curtose leptocúrtica na área A e platicúrtica com variabilidade muito alta nos dados.

O óleo variou de 2,24 % a 5,47 %, com média de 4 % na área A, e variou de 2,24 % a 5,75 %, com média 4,06 % na área B. Em geral os grãos de milho apresentam cerca de 3,5 a 5% de óleo (ALEXANDER, 1986). Os valores mínimos aqui encontrados são inferiores a 3,5%, porém os valores máximos são superiores a 5%. Essas variações diferem com Leão et al (2012), que encontraram variações no teor de óleo de 3, 24% a 4,08% em cultivar convencional e variação de 3, 73% a 8,25% em híbridos transgênicos, que também diferem aos valores obtidos por Lima et al. (2012) que ao analisar vinte e seis híbridos de milho comercial, encontraram variação que foi de 2,55 a 5,14%.

O teor de óleo apresenta-se com alta variabilidade nos dados com distribuição assimétrica negativa e leptocúrtica.

Tabela 12. Estatística exploratória produtividade, proteína e óleo A e B safra 2014.

Atributo	Ano	Área	Min	Média	Med.	Max	CV%	As	Cur
Produtividade	2014	A	6,76	10,27	10,41	13,34	10,6(m)	-0,40(b)	2,48(P)
		B	5,92	8,23	8,42	10,60	11,4(m)	-0,18(b)	-0,15(L)
Proteína	2014	A	5,47	12,12	10,95	22,43	35,4(ma)	0,64(a)	-0,05(L)
		B	4,93	13,98	13,13	24,34	51,3(ma)	1,31(a)	1,345(P)
Óleo	2014	A	2,24	4,00	3,94	5,47	21,6(a)	-0,27(b)	-0,82(L)
		B	2,24	4,06	4,30	5,75	22,2(a)	-0,35(b)	-0,85(L)

Nota: Coeficiente de variação: baixo (b); médio (m); alto (a); muito alto (ma); Assimétrica positiva (a); • Assimétrica negativa (b); simétrica(s); Curtose: Leptocúrtica (L); Mesocúrtica (M); Platicúrtica (P); ** Seguem uma distribuição normal com base no teste de normalidade de Shapiro Wilk.

Com a análise geoestatística realizada por meio de semivariogramas foi constatado que a produtividade para a área A e a proteína, para ambas as áreas, não apresentaram dependência espacial, pois apresentaram efeito pepita puro (IDE= 100%) (Tabela 13). Quanto ao IDE das demais variáveis, houve predominância de dependência espacial moderada. O gaussiano foi o modelo que melhor se ajustou.

Tabela 13 Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas para produtividade, proteína e óleo nas áreas experimentais safra 2014.

Atributo	Ano	Área	C0	C0+C1	C1	a(m)	Modelo	IDE
Produtividade	2014	A	1,196	1,196	0,000	-	efeito pepita puro	100% (Fa)
		B	0,447	1,011	0,564	194	Gaussiano	44,20%(Mo)
Proteína	2014	A	18,491	18,491	0,000	-	efeito pepita puro	100% (Fa)
		B	50,99	50,996	0,000	-	efeito pepita puro	100% (Fa)
Óleo	2014	A	0,533	0,760	0,226	70	Gaussiano	71,21% (Mo)
		B	0,677	0,858	0,180	305	Gaussiano	71,00% (Mo)

Nota: C0 = Efeito Pepita; C1 Sill; C0+C1 = Patamar; a = Alcance; IDE = Índice de dependência espacial; Fa = Fraca; Moderada = Mo; Forte (Fo).

A variabilidade espacial no mapa produtividade (2014 A) (Figura 7) cor azul contrasta com a cor verde no mapa óleo (2014 A). Essa inversão de cores demonstra uma correlação inversa, ou seja, onde a produtividade foi menor, houve uma concentração maior no teor de óleo. Essa correlação foi confirmada pela correlação espacial (BONHAM, REICH e LEADER, 1995).

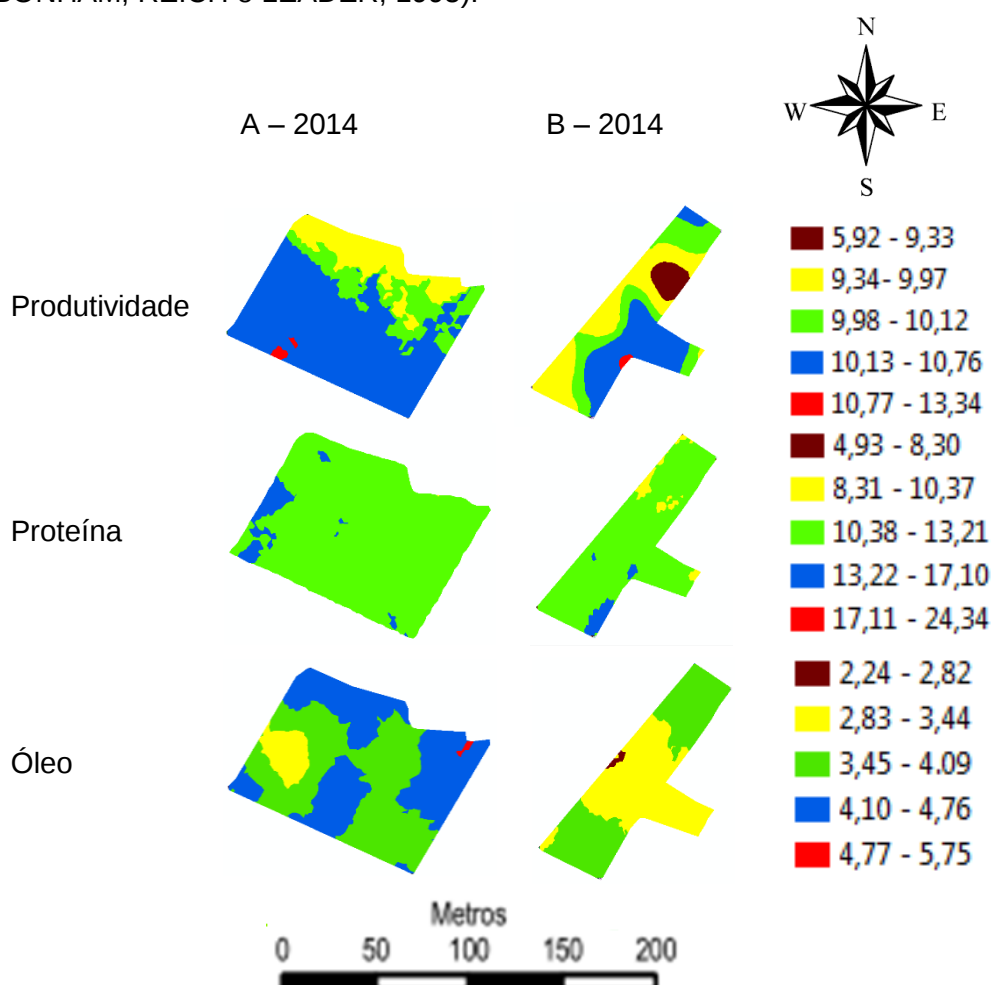


Figura 7 Mapas temáticos produtividade, proteína e óleo.

Na Figura 8 está apresentada a correlação espacial do teor de proteína e teor de óleo em relação aos atributos estudados da área A. Ao analisar a matriz de correlação, observou que, o teor de proteína apresentou correlação (espacial) positiva (significativa) com o fósforo (0,028) e com a resistência mecânica a penetração nas profundidades 0-10 (0,041), 10-20 (0,043), 20-30 (0,023). Já na área B (Figura 9) a proteína não demonstrou correlação com nenhum dos atributos estudados. Com relação ao P o resultado encontrado corrobora com Stoddart e Smithi (1955) que observaram uma relação direta entre as quantidades de fósforo e proteína de soja, concluíram o baixo teor de proteína estava associado ao baixo teor de fósforo no solo. Segundo Zanon (2007) a adequada nutrição em N, P, K e S, dado as funções no metabolismo de síntese de proteína e lipídeos, influenciam nos teores destes nos grãos de soja.

Com relação à resistência a penetração os resultados encontrados diferem com os de Cavallini et al. (2010), em estudo semelhante, que verificaram que o aumento da resistência mecânica à penetração e da umidade do solo na camada superficial, no cultivo de *Brachiaria brizantha*, promoveu redução do teor de proteína bruta e da matéria seca e não interferiu no teor de óleo.

O teor de óleo área A (Figura 11) apresentou correlação espacial negativava (significativa) com manganês (-0,036), matéria orgânica (-0,030) e com a produtividade (-0,033). Na área B (Figura 12) o teor de óleo apresentou correlação espacial positiva (significativa) com a altitude (0,096), Fe (0,031), P (0,064), pH (0,038), com a resistência mecânica a penetração nas profundidades 0-10 (0,056), 10-20 (0,043). O teor de óleo também apresentou correlação espacial negativa (significativa) com a argila (-0,052), Ca (-0,027), Cu (-0,045), Zn (-0,049) e com a produtividade (-0,036).

Com relação ao teor de óleo e manganês, a correlação encontrada corrobora com Mann (2002). O autor verificou que aplicação do Mn, independentemente da cultivar e da forma de aplicação, aumentou a produtividade de grãos, a germinação, a condutividade elétrica, o índice de velocidade de emergência e os teores de proteína e óleo da soja. De acordo com Maia et al (2001); Vieira et al (2002); Moraes et al (2002) os adubos orgânicos exercem efeitos promotores de crescimento das plantas garantindo produtividade semelhante ou superiores àquelas obtidas com adubos minerais.

Com relação ao teor de óleo e matéria orgânica, verifica-se que a adubação influencia não só a produtividade, mas também na qualidade do produto em consequência do teor de proteína nos grãos de milho (FERREIRA et al., 2001). Segundo Fuller, 1989; Summers, 2001, diversos fatores como genética, solo, nível de adubação, época de plantio e outros podem influenciar o teor de proteína do grão de milho. De acordo com Canellas et al. (1999) e Souza et al. (2007) o potencial hidrogeniônico (pH)

exerce grande influência no crescimento e desenvolvimento das plantas, uma vez que está diretamente ligado a disponibilidade de nutrientes.

Dentre os resultados encontrados verifica-se que teor de óleo correlacionou-se inversamente com a produtividade nas áreas em estudo. Alguns estudos apontam a existência de correlações negativas entre teor de óleo e produtividade do milho (Misevic e Alexander, 1989; Tatis, 1990). Porém, Alexander e Lambert (1968) concluíram que a capacidade da planta de produzir carboidratos e a de sintetizar óleo são fisiologicamente independentes no intervalo de 4 a 7% de óleo. Pivetta et al. (2012) em estudo sobre avaliação de híbridos de girassol e relação entre parâmetros produtivos e qualitativos, observaram que entre os híbridos estudados os M734 e Aguará 3 obtiveram boas produtividades e menores teores de óleo e maiores teores de proteína bruta. Duarte et al. (2005) verificaram as cultivares de milho com maior produtividade tiveram menor teor de óleo.

Óleo	-0,014																			
Alt	-0,008	0,048																		
Al	0,016	0,014	-0,031																	
Arg	0,008	0,005	0,021	-0,035																
Ca	-0,025	0,022	0,018	0,002	-0,025															
Cu	-0,020	0,015	0,005	0,013	0,010	-0,002														
Fe	-0,009	-0,017	0,000	-0,007	-0,015	-0,008	-0,033													
P	-0,021	0,029	-0,004	0,011	0,021	0,031	-0,021	-0,009												
Mg	-0,027	0,051	-0,006	0,007	0,015	0,028	-0,018	0,046	0,051											
Mn	-0,036	0,044	0,030	-0,002	-0,027	-0,005	-0,005	0,041	0,016	-0,045										
MO	-0,030	0,064	0,021	0,004	-0,005	0,007	-0,027	0,033	0,029	-0,006	0,030									
K	0,012	-0,047	-0,006	-0,001	-0,004	0,004	0,029	-0,021	-0,010	-0,004	-0,034	-0,017								
Sat.Al	0,020	0,007	-0,033	0,014	0,017	0,004	0,005	0,000	-0,007	0,024	0,011	0,002	-0,034							
SB	-0,030	0,035	0,010	0,004	-0,012	0,019	-0,018	0,032	0,034	-0,011	0,012	-0,015	0,010	0,005						
Zn	-0,016	0,013	0,010	0,006	-0,006	0,015	-0,016	0,027	0,030	-0,011	0,007	-0,001	0,008	0,009	0,010					
RSP 0-10	-0,027	0,005	-0,015	-0,003	0,012	0,009	-0,021	0,010	0,018	0,007	0,001	0,012	-0,016	0,018	0,017	-0,042				
RSP 10-20	-0,028	0,016	-0,012	0,006	0,010	0,004	-0,011	0,020	0,021	0,011	0,011	0,006	-0,010	0,017	0,009	-0,025	-0,028			
RSP 20-30	-0,002	-0,011	0,006	0,013	-0,008	-0,006	-0,007	-0,002	-0,006	-0,005	-0,016	-0,007	0,008	-0,009	-0,003	-0,034	-0,038	-0,047		
Prod	-0,033	0,035	0,026	-0,012	-0,009	0,018	-0,015	0,030	0,012	-0,011	0,020	-0,022	0,024	-0,003	0,006	0,006	0,003	-0,014	-0,004	
Proteína	0,000	0,020	0,009	-0,012	-0,014	0,013	0,020	0,028	0,001	-0,003	-0,005	-0,018	0,009	-0,011	-0,005	0,041	0,043	0,023	0,014	-0,033
	Óleo	Alt	Al	Arg	Ca	Cu	Fe	P	Mg	Mn	MO	K	Sat.Al	SB	Zn	RSP 0-10	RSP 10-20	RSP 20-30	Prod	Proteína

■ Significativo a 5% com 999 iterações de cálculo

Figura 8. Correlação espacial área A.

Óleo	0,006																					
Alt	0,096	0,372																				
Al	-0,020	-0,065	0,048																			
Arg	-0,052	-0,152	0,035	0,050																		
Ca	-0,027	-0,056	-0,009	0,011	0,014																	
Cu	-0,045	-0,127	0,064	0,058	-0,013	0,067																
Fe	0,031	0,093	0,030	-0,038	-0,039	-0,004	0,032															
P	0,064	0,207	-0,101	-0,103	0,004	-0,104	0,026	0,230														
H+Al	-0,008	-0,052	0,060	0,036	-0,021	0,064	0,025	-0,092	0,052													
Mg	0,014	0,000	-0,046	-0,010	0,034	-0,039	-0,037	0,070	-0,052	0,021												
pH	0,038	0,141	-0,075	-0,067	-0,006	-0,081	-0,002	0,153	-0,061	0,051	0,092											
K	-0,008	0,010	-0,035	-0,012	0,032	-0,043	-0,026	0,050	-0,043	0,046	0,040	0,029										
RSP 0-10	0,056	0,152	-0,049	-0,075	0,004	-0,064	0,032	0,152	-0,053	0,037	0,090	0,049	0,062									
RSP 10-20	0,043	0,058	-0,005	-0,029	0,007	-0,010	0,030	0,046	-0,011	0,002	0,020	0,006	0,015	-0,001								
RSP 20-30	-0,001	-0,052	0,027	0,025	0,015	0,027	-0,002	-0,043	0,019	-0,014	-0,034	-0,008	-0,028	-0,017	-0,010							
Sat.Al	-0,012	-0,049	0,045	0,030	-0,010	0,058	0,035	-0,087	0,056	-0,044	-0,065	-0,036	-0,043	-0,003	0,023	0,042						
SB	-0,014	-0,039	-0,034	0,001	0,031	-0,033	-0,049	0,043	-0,046	0,040	0,025	0,049	0,025	0,005	0,002	-0,036	0,049					
SMP	0,008	0,055	-0,053	-0,039	0,017	-0,059	-0,019	0,083	-0,045	0,046	0,053	0,044	0,050	0,011	-0,017	-0,052	0,041	0,038				
Zn	-0,049	-0,135	0,020	0,052	0,024	0,044	-0,036	-0,074	0,008	0,002	-0,043	0,004	-0,046	-0,028	0,013	0,016	0,019	-0,010	0,030			
Proteína	0,015	-0,026	0,024	0,013	0,000	0,021	0,008	-0,030	0,009	-0,024	-0,025	-0,011	-0,023	-0,005	0,003	0,024	-0,014	-0,004	0,010	-0,026		
Prod.	-0,036	-0,107	0,023	0,022	0,046	0,029	-0,022	-0,038	-0,007	0,016	-0,031	0,031	-0,026	0,004	0,020	0,016	0,045	0,007	0,044	0,020	0,074	
	Óleo	Alt	Al	Arg	Ca	Cu	Fe	P	H+Al	Mg	pH	K	RSP 0-10	RSP 10-20	RSP 20-30	Sat.Al	SB	SMP	Zn	Proteína	Prod.	

■ Significativo a 5% com 999 iterações de cálculo

Figura 9. Correlação espacial área B.

5. CONCLUSÃO

O teor de proteína não demonstrou dependência espacial enquanto o teor de óleo apresentou dependência espacial moderada.

O teor de óleo apresentou correlação inversa com a produtividade nas duas áreas em estudo.

REFERÊNCIAS

BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G.; RODRIGUES, S.; NÓBREGA, L. H. L.; OPAZO, M. A. U.; SANTOS, D.; KONOPATZKI, M. R. S.; SUSZEK, G. **Definição de unidades de manejo para controle de plantas invasoras**. In: Avances en Ingeniería Rural 2007-2009. Rosario: UNR, p. 835-842, 2009.

BAZZI, C. L. **Software para definição e avaliação de unidades de manejo em agricultura de precisão**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Cascavel. 2011.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. **Field-scale variability or soil properties in Central Iowa Soils**. Soil Science Society America Journal, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão no gerenciamento da fertilidade do solo sob PD no Cerrado. **Direto no Cerrado**, Brasília, n.37, p.10, 2004.

COELHO, A.M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: **Tópicos em ciência do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, III, p.349-290, 2003.

CONAB - **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. V.1, N.3. CONAB, 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_03_11_14_07_48_boletim_graos_marco_2015.pdf>. Acesso em 11 Mar 2015.

CORÁ, J.E. **The potential for site-specific management of soil and yield variability induced by tillage**. East Lansing, Michigan State University, 1997. 104p.

CRESSIE, N.A.C. **Statistics for Spatial Data, Revised Edition**. John Wiley e Sons, New York, 928p. 1993.

DEPARIS, G.A.; LANA, M.C.; FRANDOLOSO, J.F. **Espaçamento e adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura do milho**. Acta Sci. Agron., v. 29, n. 4, p. 517-525, 2007.

DUARTE, A.P.; MASON, S.C.; JACKSON, D.S.; KIEHL, J.C. Grain Quality of Brazilian Maize Genotype as Influenced by Nitrogen Level. **Crop Science**, Madison, v.45, p.1958-1864, 2005.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de Produção de Soja**. Embrapa Soja, 1º ed. Londrina, PR, 2013

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soja sofre redução no teor de proteína ao longo do tempo**. (2015). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/7693893/soja-sofre-reducao-no-teor-de-proteina-ao-longo-do-tempo>>. Acesso 08 março de 2016.

FERRARI FILHO, E. **Métodos e temperaturas de secagem sobre a qualidade físico-química e microbiológica de grãos de milho no armazenamento**. 2011. 109 f. Dissertação (Pós-Graduação em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do

Sul.

LIMA, C. G. R.; CARVALHO, M. P.; NARIMATSU, K. C. P.; SILVA, M. G.; QUEIROZ, H. **A. Atributos físico- químicos de um Latossolo do cerrado brasileiro e sua relação com características dendrométricas do eucalipto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 163-173, 2010.

LIMA, G. J. M. M. **Milho: o grão que vale ouro na dieta das aves.** Revista Avisite O Portal da Avicultura na Internet, 2011.

LIMA, P.R. **Importância de atributos físicos do solo na identificação da compactação.** Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável Artigo Científico <http://revista.gvaa.com.br>, 2013

MANN, E.N.; RESENDE, P.M.; MANN, R.S.; CARVALHO, J.G.; PINHO, E.V.R. von. **Efeito da aplicação de manganês no rendimento e na qualidade de sementes de soja.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.37, n.12, p.1757-1764, 2002.

MATHERON, G. **Principles of Geostatistics.** Economic Geology, Lacaster, v. 58, n.1, p. 1246-1266, 1963

MIRANDA, J.E.C. de; FRANCA, F.H.; CARRIJO, O.A.; SOUZA, A.F.; AGUILAR, J.A.E. **Cultivo de batata-doce** (*Ipomea batatas* (L.) Lam). Brasília, DF, EMBRAPA-CNPQ, 1987. p. 7. (EMBRAPA-CNPQ. Instruções Técnicas, 7).

MONTANARI, R.; SOUZA, G.S.A.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JUNIOR, J.; SIQUEIRA, D.S.; SIQUEIRA, G.M. **The use of scaled semivariograms to plan soil sampling in sugarcane fields.** Precision Agriculture, v.13, p.542-552, 2012. DOI: 10.1007/s11119-012-9265-6.

OLIVEIRA, M.A; ZUCARELI, C.; SPOLAOR, T.L; DOMINGUES, R.A; FERREIRA, S. **A. Composição química dos grãos de milho em resposta à adubação mineral e inoculação com rizobactérias.** Revista Ceres vol.59 no.5 Viçosa, 2012

OLIVEIRA FILHO, X.F. **Análise espacial da compactação do solo em área cultivada com cana de açúcar.** Tese (Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2014).

PIMENTEL, F. G.; GARCIA, G. H.. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais.** Piracicaba: Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz, 2002. 307 p.

SANCHEZ, R. B.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M de. **Variabilidade espacial de propriedade do latossolo e da produção de café em diferentes superfícies geométricas.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, n.4, p.489-495, 2005

SCHEPERS A. R.; SHANAHAN J. F.; LIEBIG M. A.; SCHEPERS J. S.; JOHNSON S. H.; LUCHIARI J. A.; **Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years.** Agronomy Journal, Madison, v. 96, p. 195-203, 2004.

SCHIEFFER, J.; DILLON, C.; **The economic and environmental impacts of precision agriculture and interactions with agro-environmental policy.** Precision Agriculture, v.16, n. 1, Fev 2015, pag. 46-61. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-014-9382-5>

SCHMIDT, A.; LIMA, G.J.M.M.; KLEIN, C.H. **Composição química de híbridos de**

milho produzidos na safrinha em Marechal Cândido Rondon, Paraná. Concórdia: Embrapa/CNPISA, 2004. 4p. (Comunicado técnico, 357).

SILVA, T.R.B. da. **Adubação nitrogenada e resíduos vegetais no desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em sistema de plantio direto**. 2002. 56p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

SHOEMAKER, H.E.; McLEAN, E.O. & PRATT, P.F. Buffer methods for determining lime requirements of soils with appreciable amounts of extractable aluminum. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, 25:274-277, 1961.

SOUZA, E. G., BAZZI, C. L., URIBE-OPAZO, M. A. Interpolation type and data computation of crop yield maps is important for precision crop production. **Journal of Plant Nutrition**, v. 39: 531-538 2016.

SOUZA, E. G.; BAZZI, C. L.; URIBE-OPAZO, M. A. **Thematic and profitability maps for precision agriculture**. In: 10th International Conference on Precision Agriculture, 2010, Denver. Proceedings of the 10th International Conference on Precision Agriculture, v. 1. 2010.

SOUZA, Z. M.; MARQUES, J. J.; Pereira G. T.; Bento, M. J. C. **Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho eutroférico**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.8, p.51-58, 2004.

SOUZA, Z. M.; CERRI, P. D. G.; MAGALHÃES, P. G.; CAMPOS, M. C. C. **Correlação dos atributos físicos e químicos do solo com a produtividade de cana-de-açúcar**. Revista de Biologia e Ciências da Terra. v. 8, n. 2, 2008.

SOUZA, Z. M.; CERRI, D. G. P.; MAGALHÃES, P. S. G.; SIQUEIRA, D. S. **Spatial variability of soil attributes and sugarcane yield in relation to topographic location**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n. 12, p. 250–1256, 2010.

SOUZA, E. R. **Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de um neossolo flúvico. Variabilidade espacial de atributos físicos em solo submetido à diferentes tipos de uso e manejo**. Revista Caatinga, Mossoró, v. 27, n. 2, p. 101 – 115, abr. – jun., 2014

TEIXEIRA, M. B. R. **Comparação entre estimadores de semivariância**. 2013. 122p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

VIEIRA, M.L. e KLEIN, V.A. **Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo**. R. Bras. Ci. Solo, 31:1271-1280, 2007

VIEIRA, S.R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ, V.H., SCHAEFER, G.R. (ed) Tópicos em Ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira do Solo, v.1, 2000.p.1-54.

WOLLENHAUPT. N. C.; WOLKOWSKI. R. P.; CLAYTON. M. K. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. **Journal of Production Agriculture**, v. 7, p. 441-448. 1994.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entre os principais fatores responsáveis pelo desenvolvimento do Brasil destaca-se a produção do setor agrícola e o aumento da produtividade. O aumento da produtividade depende, entre outras coisas, da ampliação de áreas de plantio, formas de manejo e plantio adequados das áreas produtivas. Para a produção de grãos, normalmente não tem foco na qualidade da produção e sim na quantidade produzida, porém verifica-se a importância em se considerar parâmetros nutricionais ou concentração de elementos fundamentais para indústria alimentícia.

Desta forma, pesquisas relacionadas aos fatores de produção que influenciam a qualidade da soja e do milho, além de servir de embasamento para criação de novos produtos industrializados a partir de parâmetros mínimos de qualidade, permitirão aumentar a demanda por estas matérias primas, agregando valor a estas e estimulando a utilização de novas técnicas e metodologias para produção agrícola.