



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**AGRICULTURA DE PRECISÃO: MANEJO DA
FERTILIDADE COM APLICAÇÃO A TAXA VARIADA
DE FERTILIZANTES E SUA RELAÇÃO COM A
PRODUTIVIDADE DE CULTURAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Gustavo Luiz Bellé

Santa Maria, RS - Brasil

2009

**AGRICULTURA DE PRECISÃO: MANEJO DA
FERTILIDADE COM APLICAÇÃO A TAXA VARIADA DE
FERTILIZANTES E SUA RELAÇÃO COM A
PRODUTIVIDADE DE CULTURAS**

por

**Gustavo Luiz Bellé
Engenheiro Agrônomo**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Prof. Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado

Santa Maria, RS - Brasil.

2009

Bellé, Gustavo Luiz

B438a

Agricultura de precisão : manejo da fertilidade com aplicação a taxa variada de fertilizantes e sua relação com a produtividade de culturas / por Gustavo Luiz Belle ; orientador Telmo Jorge Carneiro Amado. - Santa Maria, 2009.

139 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2009.

1. Engenharia agrícola 2. Manejo do solo 3. Sítio específico 4. Variabilidade do solo 5. Taxa variada I. Amado, Telmo Jorge Carneiro, orient. II. Título

CDU: 631.4:004.4

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**AGRICULTURA DE PRECISÃO: MANEJO DA FERTILIDADE COM
APLICAÇÃO A TAXA VARIADA DE FERTILIZANTES E SUA
RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DE CULTURAS**

elaborada por
Gustavo Luiz Bellé

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado
(Presidente/Orientador) - CCR - UFSM

Dr. Jackson Ernani Fiorin (FUNDA CEP)

Prof. Dr. Antônio Luis Santi (UNOCHAPECO)

Santa Maria, 27 de março de 2009

DEDICATÓRIA

A minha esposa Silvia pelo carinho, apoio e incentivo minha companheira inseparável.
Essa conquista dedico toda ao meu grande AMOR.

Aos meus pais Guido e Valdiva pelo dom da vida, por terem sempre apoiado em todos os momentos e por ter me proporcionado a maior de todas as virtudes de um casal, formar uma FAMÍLIA.

As minhas irmãs Cristina, Jucimara e Jaqueline pela grande oportunidade de ser o mano Gustavo.

Ao meu grande amigo e compadre Ricardo Dellamea pelo incentivo e companherismo
“Vai Guga tu é FERROIZ”.

A todas as pessoas que fizeram parte deste trabalho, agradeço de coração por tudo que fizeram, sintam-se parte desta conquista.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e a Nossa Senhora por ter me proporcionado paz no coração.

A minha esposa Silvia por ser minha “parceirinha” e que me fez acreditar que é possível sim escrever, basta começar e acreditar que tudo pode ser construído e melhorado.

A minha família por ter me apoiado nessa caminhada de estudar longe de casa. Obrigado de coração pelo esforço e incentivo nesses anos de estudo. Ao Alexandre “xaropinho”, Rafael. “O Fá” Guilherme “Gui” por essas crianças maravilhosas que me fazem lutar por uma educação digna e de qualidade desde pequenos.

Ao meu grande amigo e compadre Ricardo Dellamea “BONECO” por ser um companheiro nas longas viagens ao Projeto Aquarius, no dia a dia “Boneco tu me ensinou a ser ferooooiizzzzz”.

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, que me oportunizaram a experiência de estudar no mestrado.

Ao CNPQ pela bolsa de estudos que me proporcionou estudar e qualificar ainda mais a minha profissão de Engenheiro Agrônomo.

Ao prof. Telmo Amado pelos desafios e oportunidades de construir o conhecimento desafiador na área de Agricultura de Precisão.

A equipe do Laboratório de Manejo do solo Luciano Zucuni Pes (Tio Pes), Antonio Luis Santi (Fino), Ricardo Bergamo Schenato (Ricardinho), Ricardo Fulber (Alemão), Luciano Pizzuti (Oveia), Guilherme Londero, Ruberlei Dondé, Marta Rocha (Martinha), Vitor Girardello (Vitinho), Jardes Bragagnolo (Côco), Janice, Dirceu, Tiago, Finamor, Nicoloso (Nico), Mastrangelo (Mestre), Charles, Ademir, Martin, Federico (Mano), Ramiro (ferooizz), Ana Paula, e a todos que passaram e fazem história trabalhando no Laboratório de Manejo do Solo.

A toda a equipe do Projeto Aquarius (Cristiano, Gregory, Edílson, Fernando, Regis, Telmo) por ter o grande desafio de tornar mais agronômica a AP no Brasil.

A todas as empresas envolvidas no trabalho: Massey Ferguson, Stara, Fazenda Ana, Cotrijal, Yara, por acreditarem na pesquisa de campo em Agricultura de Precisão.

A equipe da Evolução Agrícola por ter me proporcionado a experiência profissional e os laços de amizade além do trabalho.

A todos que fazem parte do meu presente e histórico, sintam-se homenageados.

“Ainda que eu falasse a língua dos anjos,
e falasse a língua dos homens,
sem AMOR eu nada seria”

(Legião Urbana)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria

AGRICULTURA DE PRECISÃO: MANEJO DA FERTILIDADE COM APLICAÇÃO A TAXA VARIADA DE FERTILIZANTES E SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DE CULTURAS

AUTOR: GUSTAVO LUIZ BELLÉ

ORIENTADOR: TELMO JORGE CARNEIRO AMADO

Local e data da defesa: Santa Maria, 27 de março de 2009.

A agricultura de precisão tem se mostrado uma ferramenta importante, principalmente, para a caracterização da variabilidade espacial de atributos de solo e das culturas. Assim, há várias possibilidades de elaboração de mapas temáticos que poderão melhorar as intervenções de manejo no solo e ou na cultura. Neste trabalho foram avaliadas duas áreas que vem sendo manejadas com técnicas de AP ao longo dos anos, sendo uma delas, denominada talhão Lagoa, contendo 132 ha, e a outra, talhão Schmidt, contendo 125 ha. Em ambos os talhões foram coletadas amostras de solo com grade regular de 100 x 100 m, sendo que, no talhão lagoa foram três coletas de solo e no talhão Schmidt foram duas coletas de solo ao longo de quatro anos de avaliação. Para a caracterização da variabilidade das culturas, foi utilizada a coleta de dados através de uma colhedora MF34, equipada com sensor de rendimento, GPS (Sistema de Posicionamento Global), computador de bordo (Datavision). No talhão Lagoa, foram confeccionados mapas de colheita nas culturas de milho 2004/05, trigo 2005, soja 2005/06, soja 2006/07, milho 2007/08 e, no talhão Schmidt, foram coletados dados de colheita nas culturas de soja 2004/05, soja 2005/06, soja 2006/07 e milho 2007/08. Os resultados de colheita e solo foram processados nos softwares SGIS® e Campeiro 6.0. As aplicações a taxa variada foram realizadas com o equipamento Hércules 10.000 equipado com sistema de disco para distribuição a lanço dos fertilizantes com variação instantânea das doses. Os resultados de fertilidade indicaram que, em áreas com altos teores de fósforo e potássio, a amplitude de variação foi mantida ao longo dos anos, porém, com a diminuição de valores extremos. As correlações de atributos de solo com mapas de colheita foram maiores no talhão Schmidt para os atributos CTC, magnésio, matéria orgânica e cálcio e, no talhão Lagoa houve correlação positiva, principalmente, com matéria orgânica, ao longo das safras agrícolas. A distribuição de fósforo e potássio a taxa variada permitiu que fosse ampliado o fornecimento de nutriente acima e/ou abaixo da exportação das culturas, não interferindo no rendimento. Com isso, o mapeamento do rendimento da cultura foi uma ferramenta eficiente na definição de zonas com potencial produtivo, orientando as intervenções localizadas de fertilizantes e de manejo do solo.

Palavras-chave: sitio específico; manejo do solo; variabilidade do solo, taxa variada.

ABSTRACT

Dissertation of Mestrado
Program of Masters degree in Agricultural Engineering
Federal university of Santa Maria

AGRICULTURE OF PRECISION: MANAGEMENT OF THE FERTILITY WITH APPLICATION OF THE VARIED RATE OF FERTILIZERS AND ITS RELATION WITH CROP YIELDS

AUTHOR: GUSTAVO LUIZ BELLÉ
ADVISER: TELMO JORGE CARNEIRO AMADO
Local and date of the defence: Santa Maria, March 27, 2009.

The agriculture of precision has been an important tool for the characterization of the spatial variability of soil attributes and crops. Thus, there is many options to elaborate thematic digital maps that can improve the soil and crop management. In this work, two croplands that has been managed with precision agriculture during several years were selected. One of them was called field Lagoa, it is a 132 ha, and the other, is field Schmidt, it is a 125 ha. In both croplands soil samples were collected with regular grid of 100 x 100 m. In the field Lagoa three soil sampled were done while in the field Schmidt two soil sampled were done along four years of evaluation. In order to investigate the crop yield variability, the yields data were collected with a combine MF34, equipped with yield sensor, GPS (Global Position System), board computer (Datavision). In the field Talhao, the yield maps were made to corn 2004/05, wheat 2005, soybean 2005/06, soybean 2006/07, corn 2007/08 and, in the field Schmidt, crop data were collected to soybean 2004/05, soybean 2005/06, soybean 2006/07 and corn 2007/08. The yield data and soil data were processed in the softwares SGIS® and Campeiro 6.0. The variable rate fertilizer was done with equipment Hércules 10.000 equipped with disks system to immediate change the fertilizer rate . The evolution of soil fertility indicate that, in areas with high phosphorus and potassium levels, the range of variation was maintained through the years, although, with a decrease in extreme values. The correlations of soil attributes with crop yield maps were higher in the field Schmidt mainly to CEC, Mg, organic matter, Ca, and, in the field Lagoa there was correlation, mainly, with organic matter. The match distribution and potassium the varied rate allowed that the nutrient supply was enlarged e/ou above below the export of the cultures, not interfering in the revenue. The crop yield map was an efficient tool to define yield zones driving the site specific management of fertilizers and soil management.

Key-words: site specific; soil management; soil variability , variable rate.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 – Sequência de culturas (inverno – verão) nas áreas em estudo.....	28
Tabela 2 – Faixa de interpretação dos teores de argila (Comissão..., 2004), altitude, na área em hectares e a frequência de distribuição - Lagoa 2001, Não-Me-Toque - RS.....	30
Tabela 3 – Parâmetros estatísticos dos atributos químicos do solo avaliados no talhão Lagoa – Não-Me-Toque, 2001, RS	31
Tabela 4 – Parâmetros geoestatísticos dos principais atributos químicos do solo em 2001, talhão Lagoa, RS.	32
Tabela 5 – Faixa de interpretação dos teores de fósforo no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme o teor de argila (Comissão 2004) e segundo Critério Teor Critico (*TC) na área Lagoa 2001 - Não-Me-Toque – RS.....	33
Tabela 6 - Faixa de interpretação dos teores de potássio no solo extraídos pelo método Mehlich-1, conforme (Comissão 2004) e segundo Critério (TC) na área Lagoa 2001 - Não-Me-Toque - RS,	35
Tabela 7 - Parâmetros estatísticos dos atributos químicos do solo avaliados no talhão Lagoa – Não-Me-Toque, inverno – 2003, RS.	36
Tabela 8 - Parâmetros geoestatísticos dos principais atributos químicos do solo avaliados no inverno de 2003, talhão Lagoa, RS.....	37
Tabela 9 - Faixa de interpretação dos teores de fósforo no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme o teor de argila (Comissão 2004) e segundo Critério (TC) na área Lagoa 2003 - Não-Me-Toque - RS.....	38
Tabela 10 - Faixa de interpretação dos teores de potássio no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme Comissão (2004) e segundo Critério TC, na área Lagoa 2003 - Não-Me-Toque - RS	39

Tabela 11 - Parâmetros estatísticos dos atributos químicos do solo avaliados no talhão Lagoa – Não-Me-Toque, inverno – 2005, RS.....	41
Tabela 12 - Parâmetros geoestatísticos dos principais atributos químicos do solo avaliados no inverno de 2005, talhão Lagoa, RS.....	43
Tabela 13 - Faixa de interpretação dos teores de fósforo no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme o teor de argila (Comissão 2004) e segundo critério TC, na área Lagoa 2005 - Não-Me-Toque - RS.....	44
Tabela 14 - Faixa de interpretação dos teores de potássio no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme Comissão (2004) e segundo Critério TC, na área Lagoa , 2005 - Não-Me-Toque - RS.....	46
Tabela 15 - Parâmetros estatísticos dos atributos químicos do solo avaliados no talhão Lagoa – Não-Me-Toque, inverno – 2006, RS.....	48
Tabela 16 - Parâmetros geoestatísticos dos principais atributos químicos do solo avaliados no inverno de 2006 , talhão Lagoa, RS.....	49
Tabela 17 - Faixa de interpretação dos teores de fósforo no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme o teor de argila (Comissão 2004) e segundo Critério (TC) na área Lagoa, 2006 - Não-Me-Toque – RS.....	50
Tabela 18 - Faixa de Faixa de interpretação dos teores de potássio no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme Comissão (2004) e segundo Critério TC, na área Lagoa, 2006 - Não-Me-Toque – RS.....	52
Tabela 19 - Faixa de interpretação de teores Argila (Comissão, 2004), área em hectares e frequência percentual de distribuição na área - Schmidt 2003, Não-Me-Toque – RS.....	54
Tabela 20 - Parâmetros estatísticos dos atributos químicos do solo avaliados no talhão Schmidt – Não-Me-Toque, 2003, RS.....	55
Tabela 21 - Parâmetros geoestatísticos dos principais atributos químicos do solo avaliados no ano de 2003, talhão Schmidt, RS.....	56
Tabela 22 - Faixa de interpretação dos teores de fósforo no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme o teor de argila (Comissão 2004) e segundo Critério (TC) na área Schmidt - 2003 - Não-Me-Toque – RS.....	57
Tabela 23 - Faixa de interpretação dos teores de potássio no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme Comissão (2004) e segundo Critério TC, na área Schmidt - 2003 - Não-Me-Toque - RS.....	59
Tabela 24 - Parâmetros estatísticos dos atributos químicos do solo avaliados no talhão Schmidt – Não-Me-Toque, 2005, RS.....	61

Tabela 25 - Parâmetros geoestatísticos dos principais atributos químicos do solo avaliados no ano de 2005, talhão Schmidt, RS.....	62
Tabela 26 - Faixa de interpretação dos teores de fósforo no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme o teor de argila (Comissão 2004) e segundo Critério (TC) na área Schmidt - 2005 - Não-Me-Toque – RS.	63
Tabela 27 - Faixa de Faixa de interpretação dos teores de potássio no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme Comissão (2004) e segundo Critério TC na área Schmidt - 2005 - Não-Me-Toque – RS.	65
Tabela 28 – Correlação entre atributos de solo e mapas de colheita na cultura do Milho 2001/02, Soja 2002/03, Trigo 2003, milho 2004/05, trigo 2005, soja 2005/06, soja 2006/07 e milho 2007/08, talhão Lagoa – Não-Me-Toque, RS	68
Tabela 29 – Correlação entre atributos de solo e mapas de colheita na cultura da soja 2004/05, soja 2005/06, soja 2006/07 e milho 2007/08, talhão Schmidt – Não-Me-Toque, RS.	70

CAPÍTULO 2:

Tabela 1 – Critérios de adubação a taxa variada nas culturas de grãos – talhão Lagoa 132 ha.	83
Tabela 2 – Estratégia de manejo dos fertilizantes aplicados a taxa variada na cultura do milho e seu efeito sobre a produtividade, talhão Lagoa, 2004/05.	86
Tabela 3 - Estratégia de manejo dos fertilizantes aplicados a taxa variada na cultura do trigo e seu efeito sobre a produtividade, talhão Lagoa, 2005	88
Tabela 4 – Estratégia de manejo dos fertilizantes aplicados a taxa variada na cultura da soja e seu efeito sobre a produtividade, talhão Lagoa, 2005/06	91
Tabela 5 – Estratégia de manejo dos fertilizantes aplicados a taxa variada na cultura da soja e seu efeito sobre a produtividade, talhão Lagoa, 2006/07.	93
Tabela 6 – Estratégia de manejo dos fertilizantes aplicados a taxa variada na cultura do milho e seu efeito sobre a produtividade, talhão Lagoa, 2007/08	96
Tabela 7 – Dose de nutriente aplicada, área, quantidade de nutriente exportada e Eficiência do Uso de Nutrientes ao longo de 5 safras agrícolas, talhão Lagoa 2004 a 2008.	98
Tabela 8 – Estratégia de manejo dos fertilizantes aplicados a taxa variada na cultura da soja e seu efeito sobre a produtividade, talhão Schmidt, 2004/05.....	100
Tabela 9 – Estratégia de manejo dos fertilizantes aplicados a taxa variada na cultura da soja e seu efeito sobre a produtividade, talhão Schmidt, 2005/06.....	103

Tabela – 10 – Estratégia de manejo dos fertilizantes aplicados a taxa variada na cultura da soja e seu efeito sobre a produtividade, talhão Schmidt , 2006/07.....	105
Tabela 11 – Estratégia de manejo dos fertilizantes aplicados a taxa variada na cultura do milho e seu efeito sobre a produtividade, talhão Schmidt , 2007/08.....	107
Tabela 12 – Dose de nutriente aplicada, área, quantidade de nutriente exportada e Eficiência do Uso de Nutrientes ao longo de 5 safras agrícolas, talhão Schmidt 2004 a 2008.....	108

CAPÍTULO 3:

Tabela 1 – Sequência de culturas avaliadas com mapas de colheita.	115
Tabela 2 – Parâmetros estatísticos descritivos dos mapas de colheita avaliados talhão Lagoa 132 ha e talhão Schmidt 125, Não-Me-Toque, RS.....	121
Tabela 3 – Correlação (r) entre mapas de produtividade nos talhões Lagoa – 132 ha e talhão Schmidt – 125 ha.	125
Tabela 4 – Distribuição da produtividade em zonas de potencial produtivo segundo a classificação proposta por Molin (2002) e Shiratsuchi et al (2005) nos talhões Lagoa e Schmidt	127
Tabela 5 – Correlação das zonas de potencial produtivo (acumulado de 5 safras) com atributos de solo (3 amostragem de solo) e das zonas de potencial produtivo com as respectivas safras agrícolas no talhão Lagoa, 132 ha.	134
Tabela 6 – Correlação das zonas de potencial produtivo (acumulado de 4 safras) com atributos de solo (2 amostragem de solo) e das zonas de potencial produtivo com as respectivas safras agrícolas no talhão Schmidt,125 ha,.....	137

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1 – Vista aérea Talhão Lagoa (A), Talhão Schmidt, (B) no município de Não-Me-Toque, RS.....	27
Figura 2 - Malha de amostragem das áreas de estudo com os pontos georreferenciados – Talhão Lagoa – 132 ha (A) e Talhão Schmidt 125 ha (B), Não-Me-Toque, RS.....	29
Figura 3 - (A) Mapa de argila (%) segundo a classificação da Comissão...(2004) (A) e mapa de altitude (m) – (B) – talhão Lagoa.....	31
Figura 4 - (A) Mapa de fósforo (2001) no solo mg dm^{-3} , segundo Comissão 2004 ; (B) segundo critério (TC).....	34
Figura 5 - (A) Mapa de potássio (2001) no solo mg dm^{-3} , segundo Comissão 2004 ; (B) segundo critério (TC).....	35
Figura 6 - (A) Mapa de fósforo (2003) no solo mg dm^{-3} , segundo Comissão 2004 ; (B) segundo critério (TC).....	38
Figura 7 - (A) Mapa de potássio (2003) no solo mg dm^{-3} , segundo Comissão (2004); (B) segundo critério (TC).....	40
Figura 8 - (A) Mapa de fósforo (2005) no solo mg dm^{-3} , segundo Comissão (2004); (B) segundo critério (TC).....	45
Figura 9 - (A) Mapa de potássio (2005) no solo mg dm^{-3} , segundo Comissão (2004) ; (B) segundo critério (TC).....	47
Figura 10 - (A) Mapa de fósforo (2006) no solo mg dm^{-3} , segundo Comissão (2004) ; (B) segundo critério (TC).....	51
Figura 11 - (A) Mapa de potássio (2006) no solo mg dm^{-3} , segundo Comissão (2004) ; (B) segundo critério (TC).....	53

Figura 12 - (A) Mapa de argila (%), segundo a classificação Comissão (2004) (A) e mapa de altitude (m) – (B).....	55
Figura 13 - (A) Mapa de fósforo (2003) no solo mg dm^{-3} , segundo Comissão (2004) ; (B) segundo critério (TC).....	58
Figura 14 - (A) - Mapa de potássio (2003) no solo mg dm^{-3} , segundo Comissão (2004) ; (B) segundo critério (TC).....	60
Figura 15 – (A) - Mapa de fósforo (2005) no solo mg dm^{-3} , segundo Comissão (2004) ; (B) segundo critério (TC).....	64
Figura 16 - (A) Mapa de potássio (2003) no solo mg dm^{-3} , segundo Comissão (2004) ; (B) segundo critério (TC).....	66

CAPÍTULO 2:

Figura 1 - Mapa de aplicação a taxa variada na safra agrícola 2004/05 para a cultura do milho, com a formulação NPK 00-12-28.....	85
Figura 2 - A e B, Mapa de aplicação a taxa variada na safra agrícola 2005 - trigo, com SFT 46% de P_2O_5 e KCl 60% de K_2O	87
Figura 3 - A e B, Mapa de aplicação a taxa variada na safra agrícola 2005/06 soja, com SFT 46% de P_2O_5 e KCl 60% de K_2O	89
Figura 4 - Mapa de aplicação a taxa variada na safra agrícola 2006/07, com a formulação NPK 00-14-20.....	92
Figura 5 - Mapa de aplicação a taxa variada na safra agrícola 2007/08, com a formulação NPK 08-28-18.....	94
Figura 6 - Mapa de aplicação a taxa variada na safra agrícola 2004/05, com a formulação NPK 00-12-28.....	99
Figura 7 - A e B, Mapa de aplicação a taxa variada na safra agrícola 2005/06 - soja, com SFT 46% de P_2O_5 e KCl 60% de K_2O	101
Figura 8 - Mapa de aplicação a taxa variada na safra agrícola 2006/07, com a formulação NPK 00-14-20.....	104
Figura 9 - Mapa de aplicação a taxa variada na safra agrícola 2007/08, com a formulação NPK 08-28-18.....	106

CAPÍTULO 3:

Figura 1 – Colhedora Massey Ferguson, modelo MF 34 equipada com o Sistema Fieldstar®	116
Figura 2 – Tela de visualização do software Campeiro 6, com detalhe da visualização de mapas.....	117
Figura 3 - Descrição das precipitações medidas e a norma histórica na Fazenda Ana durante o período do experimento.....	122
Figura 4 - Mapas de produtividade: milho 2004/05; trigo 2005; soja 2005/06; soja 2006/07 e milho 2007/08, talhão Lagoa, 132 ha.....	123
Figura 5 - Mapas de produtividade: soja 2004/05; soja 2005/06; soja 2006/07 e milho 2007/08, talhão Schmidt, 125 ha.....	124
Figura 6 - Distribuição do rendimento em zonas de produtividade no talhão Lagoa, 132 ha, segundo o critério proposto por Molin (2002).....	128
Figura 7 - Distribuição do rendimento em zonas de produtividade no talhão Lagoa, 132 ha, segundo a classificação proposta por Shiratsuchi et al, (2005).....	129
Figura 8 - Distribuição do rendimento em zonas de produtividade conforme a metodologia proposta por Molin (2002), no talhão Schmidt 125 ha.....	130
Figura 9 - Distribuição do rendimento em zonas de produtividade conforme Shiratsuchi et al. (2005) no talhão Schmidt 125 ha.....	131
Figura 10 - Distribuição do rendimento em zonas de produtividade segundo a consistência ao longo de 5 safras, talhão Lagoa 132 ha.....	133
Figura 11 - Distribuição do rendimento em zonas de produtividade segundo a consistência em 4 safras, talhão Schmidt 125 ha.....	136

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	17
2 OBJETIVO GERAL	22
2.1 Hipóteses	22
3 CAPÍTULO 1: COMPORTAMENTO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLO MANEJADOS COM FERRAMENTAS DE AP NO SISTEMA PLANTIO DIRETO.	23
3.1 Introdução	23
3.2 Material e métodos	26
3.3 Resultados e discussão.	30
3.4 Conclusões	71
3.5 Referências bibliográficas	71
3.6 Anexos - capítulo 01	76
4 CAPÍTULO 2: AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS FERTILIZANTES APLICADOS A TAXA VARIADA SOBRE O RENDIMENTO DAS CULTURAS	78
4.1 Introdução	78
4.2 Material e Métodos	82
4.3 Resultados	84
4.4 Conclusões	109
4.5 Referências bibliográficas	109
5 CAPITULO 3: DISTRIBUIÇÃO DO RENDIMENTO DAS CULTURAS EM ZONAS DE POTENCIAL PRODUTIVO E SUA CORRELAÇÃO COM ATRIBUTOS DE SOLO	112
5.1 Introdução	112
5.2 Material e métodos	114
5.3 Resultados e discussão	118

5.4 Conclusões	138
5.5 Referências bibliográficas	138

1 INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura moderna, ao longo dos anos, tornou-se uma atividade que requer cada vez mais o gerenciamento dos seus processos produtivos. O crescente desenvolvimento de novas técnicas ligadas ao manejo das culturas, novos equipamentos, insumos mais eficientes têm proporcionado ganhos significativos no rendimento das culturas.

Nas últimas décadas, na sociedade moderna, tem se intensificado o processo de globalização com reflexos em todos os segmentos, especificamente no agronegócio, onde esse processo induz a uma disputa cada vez mais acirrada pelo mercado nacional e internacional. O aumento da competitividade mundial tem promovido um amplo processo de transformação, que se caracteriza pelo crescente nível de exigência dos consumidores com relação a: a) rendimentos elevados; b) preços competitivos internacionalmente; c) qualidade dos produtos; d) preservação do meio ambiente; e) aumento da eficiência energética. Tais demandas só podem ser atendidas com a otimização do uso de insumos.

A Agricultura de Precisão (AP) é composta de um conjunto de tecnologias que são aplicadas de acordo com o sistema de manejo existente, permitindo considerar a variabilidade espacial existente na área. De acordo com CAMBARDELLA; KARLEN (1999), a AP contém componentes primários: o sistema de posicionamento global (GPS), que fornece a posição onde o equipamento está localizado, mecanismos para controle de aplicação de nutrientes, defensivos agrícolas, água ou outros insumos em tempo real, colhedora equipada com sensores de rendimento e um banco de dados.

Esse conjunto de técnicas de georreferenciamento da produtividade vem sendo chamado de AP, pela qual se busca aplicar no local correto, no momento adequado, a quantidade de insumos requerida para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia disponível e os custos envolvidos o permitam (DODERMANN; PING, 2004).

Primeiramente as pesquisas na área de AP concentravam-se no desenvolvimento de sensores. Com a disponibilização do GPS - conjunto de satélites americanos que foram empregados na “guerra fria” - a partir de 1990, houve considerável incremento nas pesquisas voltadas para a AP. De modo geral, todos os grandes centros de pesquisa em engenharia agrícola e agricultura concentram a maioria dos trabalhos no desenvolvimento de técnicas de AP, e as indústrias de máquinas agrícolas têm acompanhado esse desenvolvimento.

Atualmente, grande número de indústrias fabrica máquinas e sistemas de controle, e há empresas especializadas no desenvolvimento de “softwares” para AP (MANTOVANI; GOMIDE, 2000).

O conjunto de ferramentas surge como alternativa à agricultura convencional, na qual se busca manejar as áreas de forma diferenciada, através do monitoramento localizado das atividades. Uma das principais ferramentas dessa técnica é o mapeamento de atributos do solo, que se correlaciona com a produtividade (CORÁ, 1997).

A variabilidade existente no solo é consequência da ação dos fatores que o formam sobre o material de origem, tais como: clima, relevo, organismos, tempo, juntamente com a interferência antrópica através da atividade agrícola principalmente. Com a utilização de fertilizante em faixas ou em linhas, pode-se agir, com o passar do tempo, no aumento da heterogeneidade química do solo, com implicações sobre a variação de produtividade em áreas agrícolas. A atividade humana, embora trabalhe de forma a uniformizar os sistemas, também conduz à variabilidade (COUTO et al., 1997, SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2002).

Recentemente, com a expansão da AP no Brasil, tem sido possível a geração de mapas da distribuição espacial da produtividade das culturas, permitindo relacionar a qualidade do solo com a produtividade das culturas em áreas de lavouras comerciais (AMADO et al., 2005). Assim, é possível obter um diagnóstico de problemas específicos dentro de um talhão, que poderão requerer intervenções de manejo específicas. Segundo Queiroz et al. (2000), os mapas de produtividade da cultura podem ser utilizados como ponto de partida na prospecção das causas da variabilidade, podendo ser um parâmetro eficaz na tomada de decisões de manejo.

Para o estudo das diferenças de nutrientes existentes nas lavouras, é necessário que a variabilidade espacial dos atributos de solo sejam condizentes com algum método estatístico. Nesse caso a geoestatística apresenta componentes estruturais que podem ajudar a qualificar as diferenças existentes no solo e nas plantas. Segundo Oliver (1999), a variação espacial das propriedades do solo pode ser descrita usando-se a teoria e os métodos geoestatísticos. O semivariograma, sua ferramenta central, fornece uma descrição imparcial da escala e padrão de variação espacial. Ele efetua isso medindo o grau de correlação ou dependência espacial entre os pontos amostrados, baseado na noção de que as propriedades do solo são mais prováveis de serem similares entre localizações vizinhas do que entre aquelas distantes entre si. Essa ferramenta geoestatística, que possibilita a detecção e análise da estrutura e

dependência espacial na variação dos atributos, conhecida como variograma (ou semivariograma) e representada por $\gamma(h)$, é apresentada por Isaaks e Srivastava (1989).

Teoricamente, para distâncias tendendo a zero, a semivariância deveria também apresentar valor próximo da nulidade. Entretanto, nos cálculos dos semivariogramas experimentais, que apresentam uma estrutura de dependência espacial, o que se verifica é que a semivariância calculada para os diversos intervalos raramente permite um ajuste com uma curva partindo junto à origem do eixo da semivariância. Isso caracteriza o chamado efeito pepita (C_0), ou seja, mesmo que sejam considerados pontos muito próximos entre si, haverá uma variação entre os respectivos valores, que independe da distribuição espacial das amostras. Ao descrevê-los, Oliver (1999) afirmou que os semivariogramas geralmente são limitados, ou seja, a curva que ilustra a semivariância atinge uma assíntota conhecida como patamar ($C + C_0$). Esse momento registra a amplitude da correlação ou dependência espacial dos dados, isto é, a distância até onde se percebe alguma continuidade entre os valores medidos. A partir da estabilização da curva do semivariograma, espera-se que o nível de semivariância registrado esteja próximo da variância de todo o conjunto de dados. A diferença entre o nível da semivariância definida pelo patamar e a semivariância inicial, representada pelo efeito Efeito Pepita, é identificada como a contribuição da variância estrutural (C). A distância, que vai da origem do semivariograma até o momento em que ele se estabiliza, é denominada de alcance (a). Logo, pontos separados por distâncias menores que essa faixa são espacialmente correlacionados, mas aqueles, separados por distâncias maiores que esse alcance, são independentes entre si. É o montante da semivariância que efetivamente é relacionado com a disposição espacial das amostras. Quando a curva tem uma inclinação inicial acentuada, isso mostra que os dados são espacialmente dependentes, mas que essa continuidade da propriedade enfraquece rapidamente com o aumento da distância entre os pontos. Por sua vez, uma inclinação mais suave, para um mesmo patamar de variação, expressa uma dependência espacial mais consistente, pois a continuidade entre os valores mantém-se presente até distâncias mais longas. Segundo Oliver (1999), os semivariogramas limitados pelo patamar sugerem que os valores têm uma distribuição regionalizada, com algumas áreas possuindo valores altos e outras, valores menores. Indicam, também, que toda a variação nesse nível de resolução foi englobada pela amostragem.

O objetivo principal da AP é manejar todo o conjunto de uma área particular cultivada de modo ótimo, de tal forma que os lucros agrícolas sejam maximizados e o impacto da agricultura no meio ambiente seja minimizado. É incorreto dizer que a meta da AP seja uniformizar a produtividade através de todo o campo. A AP procura perceber a produtividade

potencial e a qualidade da cultura com o incremento do retorno econômico de todas as partes de um campo, com o mínimo impacto sobre o meio ambiente. Em alguns campos, pode haver mais espaço para incrementar o retorno econômico de uma área de alta produtividade já existente, em detrimento de áreas de baixa produtividade. Isso poderá ocorrer se as causas da baixa produtividade forem insuperáveis (por exemplo, solos pobres). Se economicamente justificada, a taxa de aplicação de alguns insumos agrícolas pode ser variada, já que o objetivo deve ser o de efetuar a aplicação econômica ótima para cada parte da cultura. O conhecimento do desempenho da cultura e da margem bruta de diferentes campos e talhões de uma propriedade rural também pode ser valiosa informação para ajudar nas decisões sobre onde, e que cultura plantar, incluindo a localização de terras não aproveitáveis. Aprimoramentos da qualidade da cultura, incluindo a consistência e a uniformidade dessa qualidade, podem também elevar os lucros (DAMPNEY; MOORE, 1999).

Para que seja possível a adoção da AP - e de tecnologias de aplicação com doses variáveis em particular - uma condição quase que elementar é a variabilidade espacial. A presença da variabilidade espacial não é nenhuma novidade no meio agrícola, embora não existissem recursos suficientes para mensurar e manejar tal variação. A AP, conseqüentemente, é uma maneira não convencional de conduzir o processo produtivo, quando as práticas agrícolas são encaradas sob a perspectiva da variabilidade espacial, em contraste com a aceitação de valores médios para o tratamento dos campos e das culturas.

Segundo Molin (2002), pode ser adotada uma definição mais atual de AP com visão sistêmica do conjunto de ações que a compõe, ou seja, a AP seria, acima de tudo, um sistema de gestão ou de gerenciamento da produção agrícola que emprega um conjunto de tecnologias e procedimentos para que as lavouras e sistemas de produção sejam otimizados, tendo como elemento chave o manejo da variabilidade da produção e dos fatores envolvidos.

Nesse sentido foi criado o Projeto Aquarius, que teve início no ano 2000, na Fazenda Anna, no município de Não-Me-Toque, RS. O projeto é uma parceria entre empresas privadas do ramo agrícola (Massey Ferguson, Stara, produtor agrícola (Fazenda Anna) e a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)). Recentemente houve a adesão da Cotrijal, no ano de 2006 e, em 2008, Yara (empresa de fertilizantes) veio a fazer parte do mesmo, possibilitando, assim, a implantação, na região do Alto Jacuí, da AP. Nessas áreas o ciclo completo da AP é composto de amostragem intensiva e georreferenciada do solo, geração de mapas com a distribuição espacial dos atributos químicos analisados, interpretação e prescrição localizada de insumos, aplicação a taxa variável de insumos, geração de mapas de rastreabilidade, acompanhamento da lavoura durante o ciclo das culturas. Também são

coletados dados de colheita em cada safra agrícola, e posteriormente são gerados mapas com auxílio dos softwares CR – CAMPEIRO 6, de propriedade do Departamento de Geomática – UFSM, e também SGIS disponibilizado pela AGCO do Brasil.

Assim, com o conjunto de informações adquiridas ao longo dos anos e com o monitoramento constante dos atributos de solo e colheita, fez-se necessário um estudo conjunto do histórico desses dados, visando à análise do comportamento espacial e temporal de seus atributos, bem como as suas correlações entre si e a produtividade das culturas ao longo dos anos.

2 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência dos fertilizantes aplicados a taxa variada em lavouras comerciais e seu impacto na distribuição espacial dos atributos do solo e do rendimento das culturas ao longo dos anos.

2.1 Hipóteses

- A aplicação de fertilizantes a taxa variada diminui a amplitude da variabilidade espacial dos nutrientes do solo;
- A AP, através da aplicação a taxa variada de fertilizantes, pode contribuir com a melhoria da eficiência dos fertilizantes.

3 CAPÍTULO 1: COMPORTAMENTO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLO MANEJADOS COM FERRAMENTAS DE AP NO SISTEMA PLANTIO DIRETO

3.1 Introdução

A fertilidade do solo tem se modificado ao longo dos anos devido a práticas de manejo que priorizavam a aplicação uniforme de insumos, visando a correções e ao suprimento de nutrientes para culturas de grãos, entre outras. Segundo Raij (1991), solos férteis permitiram o desenvolvimento de civilizações e a criação de riquezas em inúmeras regiões do mundo. Ainda hoje isso ocorre, enquanto ainda há terras férteis virgens a serem conquistadas. A pesquisa científica e tecnológica orientou o caminho para que uma agricultura, baseada em grande parte no uso de corretivos da acidez e de fertilizantes minerais, passasse a ocupar áreas antes improdutivas. Ao mesmo tempo, solos desgastados puderam ter sua produtividade restaurada. A obtenção de informações a respeito da variabilidade espacial das propriedades do solo e das plantas é de grande importância para a avaliação da fertilidade; levantamento, mapeamento e classificação de solos; desenvolvimento de esquemas mais adequados de amostragens, entre outros, visando à melhoria das condições de manejo e o incremento de produtividade das culturas (SOUZA, 1992).

Os fatores responsáveis pela formação do solo são, pela sua natureza, determinantes para que o mesmo apresente heterogeneidade, tanto vertical como horizontalmente. Esse fato ocorre porque o próprio material de origem não é uniforme na sua disposição, ou seja, o material de origem não sofre o processo de intemperização de forma homogênea e contínua. Os atributos químicos do solo, após sofrerem sucessivas alterações provocadas pelas atividades agrícolas e, conseqüentemente, pelos processos erosivos, comportam-se de forma diferenciada ao longo da paisagem. Considerando essas variações e a dependência espacial, a utilização de amostragem aleatória seria insuficiente para representar toda uma classe de solo (PREVEDELLO, 1987).

A variação das características texturais do solo ocorre em função do ambiente de deposição de sedimentos, da vegetação, do relevo que regula o tempo de exposição dos materiais à ação do intemperismo e, principalmente, do material de origem. A textura do solo

também pode variar em função da estratigrafia da área de estudo. A variação textural do arenito do grupo Bauru (mais fino na base e grosseiro no topo), por exemplo, é indicação da mudança do ambiente deposicional (MARQUES JUNIOR; LEPSCH, 2000).

Segundo Webster e Olivier (1990), as muitas propriedades do solo variam continuamente no espaço e, conseqüentemente, os valores em locais mais próximos entre si tendem a serem próximos daqueles tomados mais distantes entre si, até uma distância limite, correspondente ao domínio dessas propriedades. Caso isso ocorra, os dados não podem ser tratados como independentes e um tratamento estatístico mais adequado é necessário. As variações nas propriedades do solo correlacionam-se com a posição no espaço, ou seja, dois valores tomados próximos um do outro tendem a ser mais semelhantes entre si que dois tomados mais afastadamente.

No caso de uma área cultivada, existem outras fontes de variabilidade no solo devidas ao manejo exercido pelo homem, como o cultivo em linhas e a conseqüente aplicação localizada de fertilizantes (SOUZA et al., 1997). O conhecimento da variação de atributos químicos é importante para o levantamento e manejo do solo, planejamento de esquemas de amostragem e gerenciamento de práticas agrícolas. A variabilidade dos atributos químicos do solo é um dos possíveis fatores responsáveis pela influência na oscilação da produtividade. Antes de buscar qualquer relação desses elementos com a cultura, é importante avaliar a extensão e a intensidade da dependência espacial dessa variação, isoladamente ou em conjunto com outros parâmetros (GANDAH et al., 2000).

O equilíbrio ambiental pode ser atribuído à interação dos fatores solo, clima, fauna e homem. As práticas agrícolas provocam modificações no ambiente, alterando seu equilíbrio natural, sendo o solo um desses fatores a sofrer transformação. Muitas vezes o manejo inadequado promove transformações no solo, alterando características químicas e físicas, levando à perda de seu potencial produtivo, culminando com sua degradação.

As aplicações convencionais de fertilizantes atualmente realizadas pelos agricultores implicam aplicações excessivas em determinadas áreas do campo e insuficientes em outras. O conhecimento detalhado da variabilidade espacial dos atributos da fertilidade pode otimizar as aplicações localizadas de corretivos e fertilizantes, melhorando, dessa maneira, o controle do sistema de produção das culturas, reduzindo os custos gerados pela alta aplicação de insumos e a degradação ambiental provocada pelo excesso desses nutrientes (ROCHA; LAMPARELLI, 1998).

Ao analisarem a relação custo/benefício para os diferentes níveis de amostragem, Clay et al. (1998) sugeriram que, para uma malha de 90m, o lucro líquido seria maior que o obtido

por uma amostra média para aplicação uniforme, enquanto a malha de 60m já implicaria prejuízo, em função de o aumento do custo de amostragem elevar-se exponencialmente com a redução do espaçamento. Além disso, segundo os autores, os esquemas de amostragem devem ser considerados separadamente das estratégias de adubação, uma vez que o custo do equipamento, para aplicação localizada, pode ser substancialmente maior que o de taxa fixa, o que pode fazer com que o retorno com tal prática seja menor para alguns tratamentos. Em concordância a isso, Dampney e Moore (1999) argumentaram que os praticantes de AP devem julgar conscienciosamente o nível de precisão que é apropriado para a questão envolvida, baseados no conhecimento de todos os erros potenciais. Ressaltaram, ainda, que os custos de obtenção de dados e de manejo provavelmente aumentem com níveis crescentes de precisão e somente um nível apropriado será economicamente viável.

Para Hopkins et al. (1999), as práticas de manejo agrícola localizado têm sido identificadas como detentoras da promessa de agredir menos o ambiente e elevar os retornos líquidos. A promessa do manejo localizado, entretanto, somente será concretizada quando as decisões a serem tomadas forem baseadas em informações espaciais. O conhecimento convencional, ratificado por Dampney e Moore (1999), dita que os produtores devem aguardar o acúmulo de dados sobre variabilidade de produtividade antes de adotar práticas de manejo localizado de culturas. Nesse sentido, Hopkins et al. (1999) relataram que a produtividade de parcelas relacionadas umas com as outras, em um campo de Iowa (USA), não foi estável até para dados espaciais coletados por 6 anos. A soma de toda informação disponível, ainda conforme Hopkins et al. (1999), pode ser insuficiente para reduzir a incerteza a um nível mínimo com respeito à magnitude da variabilidade que, se existente, deve ou não ser alvo de técnicas de manejo localizado.

Apesar de reconhecer a possibilidade de detectar e manejar a variabilidade de muitos atributos, como produtividade e qualidade da cultura, tipo de solo e nutrientes, plantas daninhas, pragas e doenças, Dampney e Moore (1999) afirmaram que o mapeamento confiável e não oneroso desses atributos apresenta muitos desafios. Embora mapas confiáveis de produtividade possam ser produzidos, outros atributos mapeados por sistemas comerciais de mapeamento nem sempre oferecem a mesma confiabilidade. A base dos levantamentos desses atributos pode ser inadequada para dar suporte à forma detalhada com que os resultados são apresentados aos produtores rurais. Por exemplo, o mapeamento de isolinhas de pH e nutrientes do solo é geralmente baseado em amostras de solo tiradas sobre uma malha de 100m, com mapas gerados a partir de programas de interpolação estatística. Sob esse aspecto, os autores ressaltaram ainda que, quando se utilizou análise geoestatística, alguns

resultados mostraram que, geralmente, são necessários intervalos de amostragem entre 40 e 60m, para que se obtenham mapas confiáveis de pH e alguns nutrientes do solo. Complementando, Dampney e Moore (1999) afirmaram que, embora a amostragem intensiva possa ser custosa, devem ser reconhecidos os perigos de alguns mapas interpolados, que exibem uma apresentação agradável, mas são potencialmente enganosos, pois foram produzidos a partir de dados insuficientes. O significado de ter informações perdidas em função de amostragem a espaçamentos mais largos, bem como o mérito da amostragem inteligente em determinadas zonas do campo, baseada em fatores tais como tipo de solo, topografia e padrões de crescimento e produtividade, são questões relevantes que devem ser analisadas.

Analisando amostras de solo coletadas em lavouras cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico típico, Latossolo Vermelho distroférico típico e Chernossolo Argilúvico férrico típico-escuro, Schlindwein e Anghinoni (2000) encontraram maior variabilidade horizontal para fósforo e potássio do que para pH em água, índice SMP e matéria orgânica. Os autores atribuíram esse comportamento ao sistema de distribuição de fósforo e potássio, realizado em linha, enquanto o de calcário e dos resíduos vegetais foi realizado a lanço, de maneira uniforme sobre o solo, diminuindo a sua variabilidade.

O crescimento das plantas, conforme a lei do mínimo, citada por Rajj (1991), é limitado pelo nutriente menos disponível no solo. Os aumentos sucessivos nas quantidades disponíveis no solo, em função de utilização de quantidades crescentes de fertilizantes, também podem atingir níveis prejudiciais ao crescimento das plantas. Esse é o princípio da lei dos incrementos decrescentes. Ndiaye e Yost (1989), em estudo sobre potássio na cultura do milho, observaram que, em áreas onde havia menor variação na concentração desse nutriente, o rendimento médio da cultura atingia níveis superiores.

3.2 Material e métodos

O estudo se realizou em duas áreas agrícolas comerciais pertencentes ao Projeto Aquarius, localizadas no município de Não-Me-Toque (RS), distantes 250 km de Santa Maria, e, ambas representativas da principal região produtora de grãos do RS. O município está localizado na Região do Planalto Médio do RS, na microrregião do Alto Jacuí, com uma área territorial de 365,5 km². Pelo sistema internacional de classificação climática de Köppen,

o município se enquadra na zona fundamental temperada (C), tipo fundamental úmido (Cf), com variedade específica subtropical (Cfa). A variedade subtropical úmido apresenta chuva bem distribuída durante o ano (nenhum mês com menos de 60 mm) e temperatura média do mês mais quente superior a 22,0 °C (CUNHA, 2007). A região situa-se na zona da escarpa arenito-basáltica do Planalto Meridional Brasileiro, com solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, textura muito argilosa (>60%), com profundidade média de 1,5 metros (EMBRAPA, 1999). Através do projeto de lei 98/2007, da Assembléia Legislativa do Estado do RS, o município foi declarado “Capital da AP”.

As áreas em estudo são pertencentes à Fazenda Anna, no município de Não-Me-Toque – RS, sendo a área Schmidt com 125 ha e a área da Lagoa com 132 ha, (Figura 1), totalizando 256 ha.

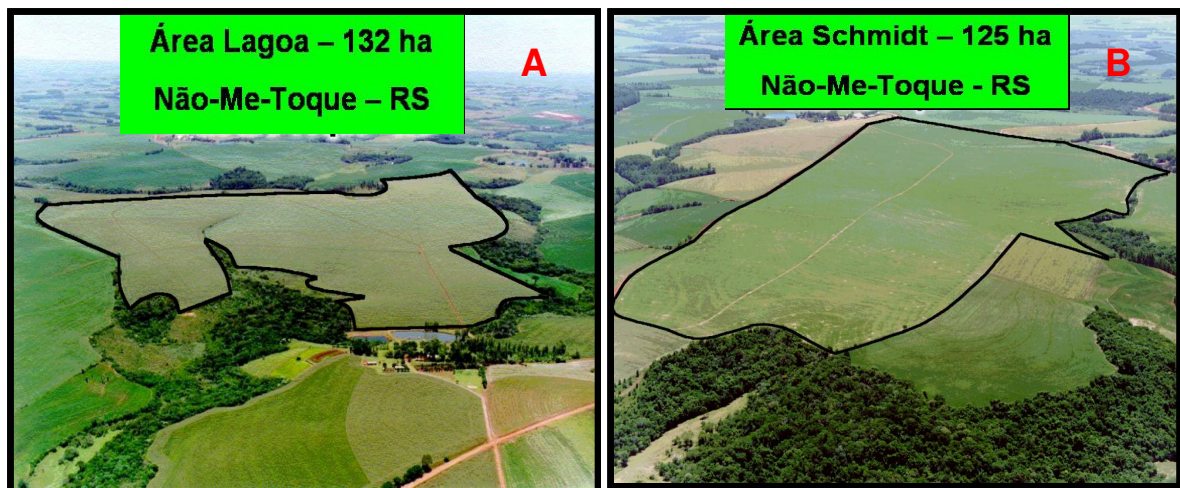


Figura 1 – Vista aérea Talhão Lagoa (A), Talhão Schmidt, (B) no município de Não-Me-Toque, RS.

O talhão da Lagoa, com 132 ha, visualizado na Figura 1, está localizado entre as coordenadas de latitude -28 28' 46.63031" e longitude -52 46' 56.21167", com o Datum WGS 1984 e altitude média 487 m. O talhão Schmitt, com 125 ha (Figura 1B), está localizado entre as coordenadas de latitude -28 30' 37.41451" e longitude -52 46' 55.84588", seguindo o Datum WGS 1984 e altitude média 471 m.

O sistema de rotação adotado na fazenda obedeceu a uma sequência de culturas (tabela 1) e as coletas de análises de solo foram realizadas anteriormente à adubação da cultura de inverno, que deveria ser destinada para grãos. No caso de utilização da cultura de inverno para cobertura, a coleta foi realizada no estágio inicial das culturas, conforme a

descrição a seguir. As coletas de amostras de solo no talhão Lagoa iniciaram-se no ano de 2001, com o estabelecimento da malha amostral, tendo espaçamento de 141 x 141 m. A época de amostragem coincidiu com a fase inicial da cultura da aveia, tendo sido adotada a profundidade de amostragem de 0 a 0,2 m. O sistema de amostragem adotado nesse ano era composto de um cilindro hidráulico acoplado ao trator com diâmetro de 50 mm, sendo que a cada ponto de amostragem foram coletadas 10 subamostras aleatoriamente, na mesma profundidade. No ano de 2003, a metodologia utilizada teve como base a malha de amostragem de 100 x 100 m, realizada no talhão Lagoa após a cultura da soja e no talhão Schmidt, após o estabelecimento da cultura do nabo forrageiro. O sistema de amostragem adotado nesse ano de 2003 foi a pá-de-corte, em ambas as áreas, sendo coletadas 3 subamostras a partir do ponto central, num raio de 20 m ao redor desse ponto em ambas as áreas.

Tabela 1 - Sequência de culturas (inverno – verão) nas áreas em estudo.

Talhão Lagoa							
*Ano	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08
**Cultura	aveia	aveia	trigo	aveia	trigo	aveia	aveia
***Cultura	milho	soja	soja	milho	soja	soja	Milho
Talhão Schmidt							
Ano	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	
*cultura	aveia	Nabo	aveia	Aveia	aveia	Aveia	
**cultura	Soja	milho	Soja	soja	Soja	milho	

*Ano (o ano agrícola compreende uma cultura de inverno e outra de verão)

**cultura (refere-se à cultura implantada no período de inverno)

***cultura (refere-se à cultura implantada no período de verão)

A partir do ano de 2005, as amostras de solo foram coletadas com auxílio de trado calador, com 12 subamostras por ponto georreferenciado, a uma profundidade de 0 a 0,1 m. No talhão Lagoa, as amostras foram coletadas após a cultura do milho, anteriormente à implantação da cultura de inverno, nesse caso o trigo, com malha amostral de 100 x 100 m. Já no talhão Schmidt, foram coletadas as amostras utilizando-se a malha amostral de 100 x 100 m sobre a cultura da aveia de cobertura, no estagio inicial, utilizando-se o trado calador, coletando-se 12 subamostras por ponto georreferenciado na profundidade de 0 a 0,1 m.

A amostragem de solo, em 2006, foi realizada somente no talhão Lagoa, como no ano anterior, com malha amostral de 100 X 100 metros (figura 4A) e 123 pontos para a área Schmidt (figura 4B).

O GPS de navegação utilizado para a localização dos pontos centrais de coleta de solo foi o modelo Garmin Legend[®], sendo que a malha amostral anteriormente fora estruturada no software CR Campeiro 6.0, e posteriormente transferida para o GPS de navegação, com a mesma configuração estabelecida (WGS – 1984).

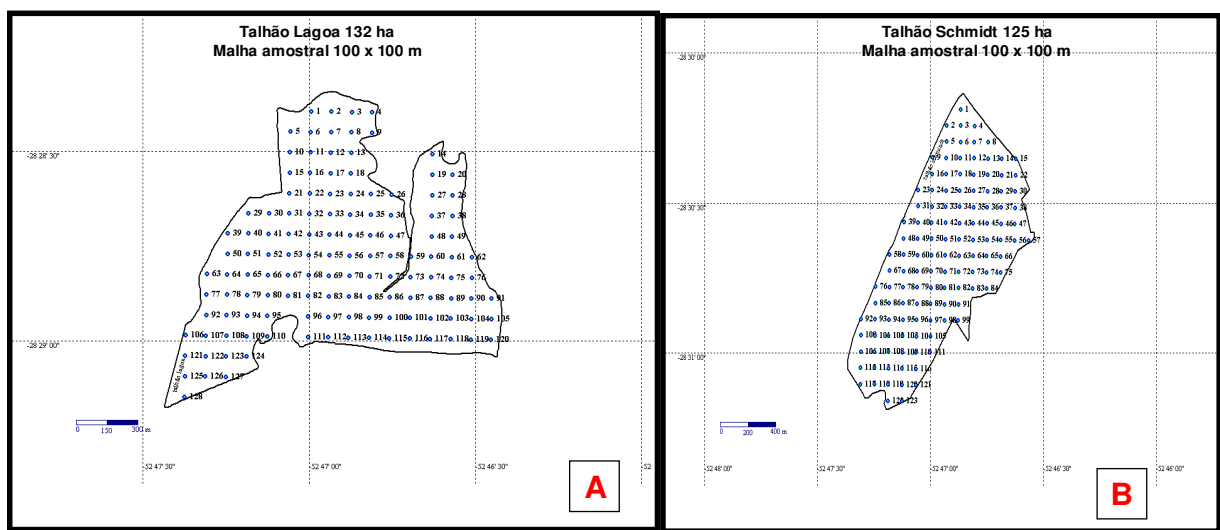


Figura - 2 - Malha de amostragem das áreas de estudo com os pontos georreferenciados – Talhão Lagoa – 132 ha (A) e Talhão Schmidt 125 ha (B), Não-Me-Toque, RS.

As determinações foram realizadas segundo metodologias descritas por TEDESCO et al. (1995) e EMBRAPA (1997). Os atributos químicos avaliados foram o pH em água (relação 1:1), o índice SMP, os teores de fósforo e de potássio, extraídos por Mehlich I (relação 1:10) e alumínio, cálcio e magnésio trocáveis, extraídos por KCl 1M. Também foi determinado o teor de argila das amostras, pelo método do densímetro. Foram realizadas duas repetições de laboratório para cada amostra analisada e os procedimentos analíticos seguiram a metodologia descrita em TEDESCO et al. (1995). A partir desses dados, foram calculadas as somas de bases, a CTC e saturação por alumínio. O conteúdo de carbono orgânico foi determinado pelo método de combustão úmida, descrito por NELSON & SOMMERS (1996), com dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇ 0,4N), por titulação com sulfato ferroso amoniacal, sendo os resultados expressos em teor de matéria orgânica.

A classificação dos teores de fósforo e potássio no solo será distribuída em duas metodologias: a oficial, proposta pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC – 2004, e outra, baseada no Teor Crítico do Solo (TC), que procura estabelecer a amplitude de variação acima do TC do solo.

3.3 Resultados e discussão.

A caracterização da variabilidade espacial dos atributos de solo é etapa importante na compreensão das diferenças existentes que podem influenciar o desenvolvimento vegetal. Assim, um dos primeiros passos é mapear a altitude do terreno, visto que a declividade influencia os seus processos de formação, deslocamento da água, manejo, etc..., e podem agir na distribuição das diferenças, principalmente do rendimento e da fertilidade. Na tabela 2, pode-se comprovar a existência de duas classes de solo quanto à textura, com distribuição preferencial na classe 2 com 85,5 ha, ou seja, 64,6% e 45,3 ha na classe 1, isto é, 34,2% da área. Isso reforça a afirmação feita por Souza (2001), de que em áreas consideradas homogêneas, sob uma única classe de solo, existe dependência espacial de atributos granulométricos a curtas distâncias em grau suficiente para interferir na produtividade das culturas.

As diferenças no relevo podem, nesse caso, influenciar a distribuição espacial dos teores de argila. Conforme a figura 3, pode-se observar que os maiores valores de argila estão nas partes mais baixas do talhão, obedecendo ao deslocamento natural das frações mais finas que podem ser melhor carregadas com a água.

Tabela 2 – Faixa de interpretação dos teores de argila (Comissão..., 2004), altitude, na área em hectares e a frequência de distribuição - Lagoa 2001, Não-Me-Toque - RS.

Argila				Altitude	
Faixa	Classe	Área	Frequência	Altitude (m)	Área (ha)
--- % ---		--- ha ---	--- % ---	450 - 460	6,8
≤ 20	4	0	0	460 - 470	23,3
21 – 40	3	1,4	1,1	470 - 480	22,5
41 – 60	2	85,3	64,7	480 - 490	37,4
> 60	1	45,3	34,2	490 - 500	42

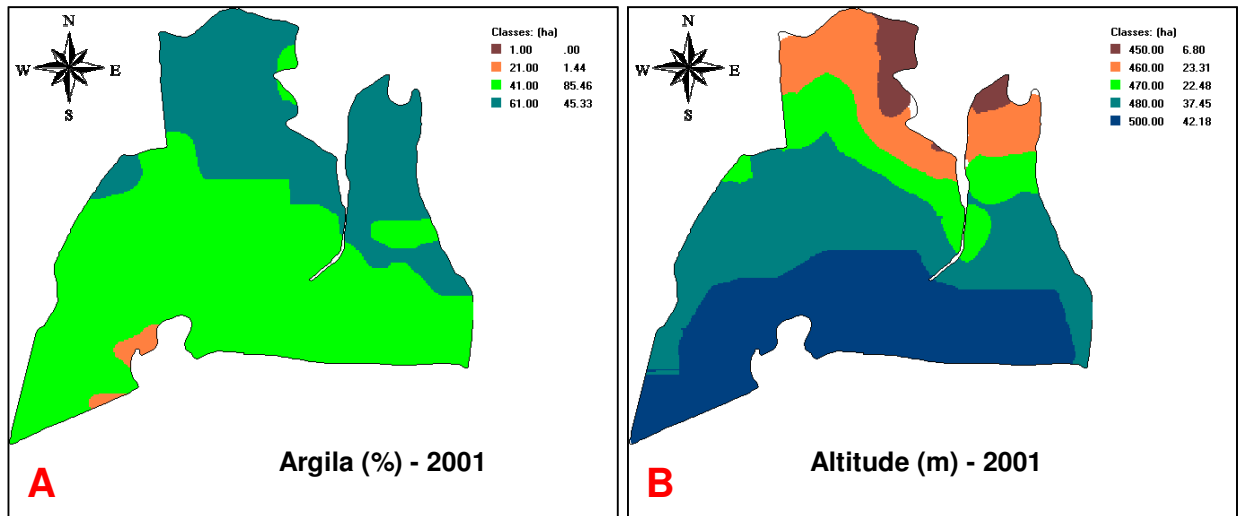


Figura 3 - (A) Mapa de argila (%) segundo a classificação da Comissão...(2004) (A) e mapa de altitude (m) - (B) - talhão Lagoa.

Com bases nos resultados apresentados na tabela 3, pode-se observar que, para o fósforo, a amplitude de variação é considerada alta, tendo valor 68,8% e, para o potássio, 17,4. O resultado do CV% é considerado médio, conforme classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980), em baixa ($CV < 12\%$), média ($12 < CV < 62\%$) e alta ($CV > 62\%$). Ressalta-se também a diferença considerável entre os valores mínimo e máximo para ambos os nutrientes, porém a média se aproxima mais do quartil superior para o fósforo e potássio, tendo assim distribuição mais acentuada acima dos valores médios.

Tabela 3 - Parâmetros estatísticos dos atributos químicos do solo avaliados no talhão Lagoa - Não-Me-Toque, 2001, RS.

Variável	Parâmetros Estatísticos							
	Mínimo	Máximo	Mediano	Média	Q.sup	Q. inf	DP	CV%
Fósforo (mg dm^{-3})	2,1	33,3	9,9	13,7	19,3	5,2	9,4	68,6
Potássio (mg dm^{-3})	96	201	144	145	162	127	25,6	17,4

Q.sup = Quartil Superior; Q.inf = Quartil Inferior; DP = Desvio Padrão; CV% = Coeficiente de Variação.

A distribuição espacial do fósforo foi considerada moderada, tendo alcance de 500 m e o indicador de dependência espacial com valores de 33. Nesse caso, vale destacar que o sistema de adubação adotado consiste em aplicar a lanço os nutrientes, podendo assim contribuir para a amplitude de variação. Para o potássio, a dependência espacial foi

considerada forte, porém o alcance ficou em 700 m, indicando que a distribuição desse nutriente no solo é variável. Deve-se destacar que a amostragem nesse ano foi realizada de 0 a 20 m, o que pode ter contribuído para a diminuição da amplitude de variação, pois há uma maior distribuição dos teores de potássio no perfil do solo, ocasionando baixa variação desse nutriente.

Tabela 4 - Parâmetros geoestatísticos dos principais atributos químicos do solo em 2001, talhão Lagoa, RS.

Variável	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	Modelo	Grau de causalidade	Dependência Espacial
Fósforo (mg dm^{-3})	219	656	500	Esférico	33	Moderada
Potássio (mg dm^{-3})	11	88	700	Esférico	12,5	Forte

⁽¹⁾ Efeito Pepita: semivariância a espaço zero; Patamar: semivariância a um espaço maior que a distância do alcance; Alcance: distância após a qual os valores das propriedades não são espacialmente correlacionados; Modelos ajustados aos semivariogramas experimentais: Esférico, Exponencial e Gaussiano, Dependência espacial IDE (forte $\leq 25\%$; moderada 25 a 75%; fraca $\geq 75\%$ a 100 e ≥ 100 Efeito Pepita puro); Cambardella, 1994.

Os resultados apresentados na tabela 5 mostram que a distribuição dos teores de fósforo no solo, segundo a Comissão (2004), apresenta valores em todas as faixas de classificação, sendo a maior parte dos pontos distribuídos nas faixas alto e muito alto, atingindo juntas 61,5% da área. Deve-se destacar, também, que essa área possui variação nos teores de argila, que aumenta a variação dos nutrientes no solo e, ainda que o histórico de manejo da fertilidade não considerava a existência de variação textural para as aplicações de fertilizantes, principalmente o fósforo. Assim como o manejo da fertilidade até então era conduzido com doses fixas de fertilizantes, nota-se, na figura 4 (A), que os valores menores de fósforo no solo estão na parte superior do mapa, coincidindo com os maiores valores de argila, conforme a figura 3 (A) apresentada anteriormente.

Na distribuição proposta segundo o critério do Teor Crítico (TC) do solo, apresentado na tabela 1.5, nota-se que há concentração de 38,9% da área dentro da faixa do TC1, porém com 30% no TC2, 18,6% TC3 e 12,5 TC4. Esse comportamento está em grande parte associado à correlação existente entre o teor de argila e o fósforo no solo, que, nesse caso, obteve valor de - 0,70, conforme o anexo 1. Nota-se também que há alta correlação entre a altitude e o teor de argila no solo, com valores de - 0,87, tendo, com isso, influenciado o valor de 0,76 entre o fósforo e a altitude. Assim, quanto maior for a altitude menor serão os

valores de argila e, conseqüentemente, maiores teores de fósforo estarão presentes nas análises, seguindo o método Mehlich-1, que não fornece o valor total que o mesmo consegue extrair do solo.

Tabela 5 - Faixa de interpretação dos teores de fósforo no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme o teor de argila (Comissão 2004) e segundo Critério Teor Crítico (*TC) na área Lagoa 2001 - Não-Me-Toque – RS.

Comissão 2004			
Faixa de interpretação ¹	mg dm ³	ha	%
Muito Baixo	≤ 3,0	2,6	2,0
Baixo	3,1 – 6,0	22,7	17,2
Médio	6,1 - 9,0	25,5	19,3
Alto	9,1 - 18,0	39,8	30,1
Muito Alto	> 18,0	41,7	31,4
Critério (TC)			
Referência *TC	mg dm ⁻³	Há	%
**TC1	0 – 9	51,4	38,9
TC2	9,1 – 18	39,6	30
TC3	18,1 – 27	24,6	18,6
TC4	27,1 - 36	16,4	12,5

(1) Teores de argila: classe 2 = 41 a 60 %

*TC (Teor crítico = 9 mg dm⁻³)

(**TC1 = 1xTC; TC2 = 2xTC; TC3 = 3xTC; TC4 = 4xTC; TC5 = 5xTC)

Também se pode observar (anexo 01) que há correlação positiva de 0,25 entre potássio e argila, principalmente pela maior CTC desse solo na parte mais argilosa e -0,24 de correlação entre potássio e altitude, evidenciando que o deslocamento preferencial da água no solo pode ocasionar o transporte desse nutriente para as partes mais baixas do terreno.

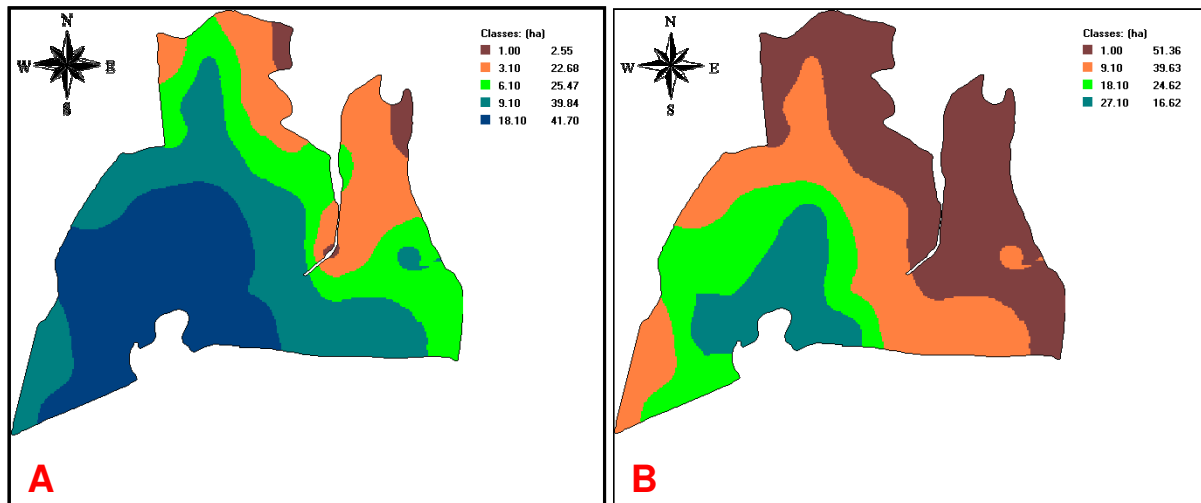


Figura 4 - (A) Mapa de fósforo (2001) no solo mg dm⁻³, segundo Comissão 2004; (B) segundo critério (TC).

Os resultados apresentados na tabela 6 demonstram que a maior parte da área - 83,5% - está concentrada na faixa de interpretação muito alta e que não há valores abaixo da faixa do alto, tendo assim pouca variação de distribuição, segundo a (COMISSÃO 2004). Quando é utilizada a classificação segundo o critério (TC), há predominância de valores situados entre TC3, isto é, valores bem acima do considerado crítico e com baixa probabilidade de resposta a altas doses de potássio. A presença de altos teores de potássio no solo está ligada provavelmente ao histórico de adubação, que priorizava o potássio em grande quantidade na composição das formulações adicionadas na área. Soma-se a isso o sistema de cultivo com presença de plantas de cobertura e milho, com alta capacidade de ciclagem de nutrientes e manutenção do mesmo na palhada.

Na figura 5, nota-se que há pequena variação do potássio, existindo partes isoladas com dois locais onde há o fluxo preferencial da água no sentido do sul ao norte, nesse caso podendo carrear parte do nutriente para fora da área ou para as partes mais baixas do terreno.

Tabela 6 - Faixa de interpretação dos teores de potássio no solo extraídos pelo método Mehlich-1, conforme (Comissão 2004) e segundo Critério (TC) na área Lagoa 2001 - Não-Me-Toque - RS.

Comissão 2004			
Faixa de interpretação (1)	mg dm ⁻³	ha	%
Muito Baixo	≤ 20	0,0	0
Baixo	21 - 40	0,0	0
Médio	41 - 60	0,0	0
Alto	61 - 120	22	16,6
Muito Alto	>120	110,24	83,5
Critério (TC)			
Referência *TC	mg dm ⁻³	Área - ha	%
**TC1	0 – 60	0	0
TC2	61 – 120	20,87	15,8
TC3	121 – 180	104,66	79,3
TC4	181 - 240	6,7	5,1

⁽¹⁾ CTC_{pH 7,0} (5 – 15 cmol_c dm⁻³)

*TC (Teor crítico = 60 mg dm⁻³)

(**TC1 = 1xTC; TC2 = 2xTC; TC3 = 3xTC; TC4 = 4xTC)

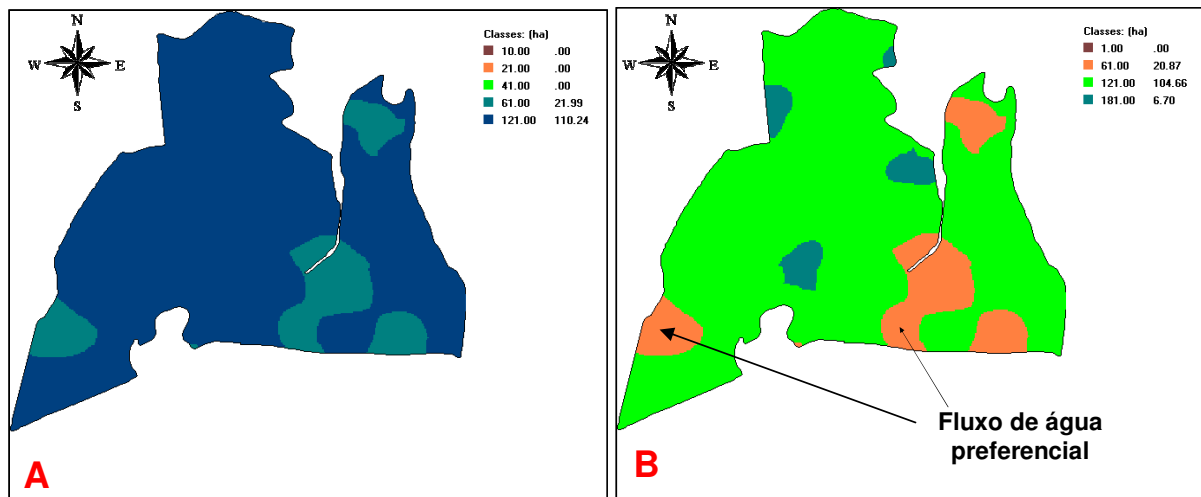


Figura 5 - (A) Mapa de potássio (2001) no solo mg dm⁻³, segundo Comissão 2004; (B) segundo critério (TC).

Os resultados obtidos no inverno de 2003, conforme a tabela 7, mostraram que a amplitude de variação dos principais nutrientes foi significativa, sendo, no fósforo, 1116% e no potássio, 308% de diferença entre os valores mínimo e máximo na camada de 0 a 0,10 m.

Assim, de acordo com a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), em baixa ($CV < 12\%$), média ($12 < CV < 62\%$) e alta ($CV > 62\%$), os valores do coeficiente de variação ($CV \%$) apresentaram-se médios, com 54% para o fósforo, e 35% para o potássio. A ocorrência de grandes diferenças é sustentada por Johnson et al. (1996) e Souza et al. (1997), os quais afirmam que o manejo exercido pelo homem pode aumentar a amplitude de variação dos atributos de solo, visto que o cultivo em linhas e a consequente aplicação localizada de fertilizantes a taxa fixa podem contribuir para a manutenção da variabilidade espacial.

Tabela 7 - Parâmetros estatísticos dos atributos químicos do solo avaliados no talhão Lagoa – Não-Me-Toque, inverno – 2003, RS.

Parâmetros Estatísticos								
Variável	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Q.sup	Q. inf	DP	CV%
Fósforo (mg dm^{-3})	3,7	45	15	17	22	9,3	9	54
Potássio (mg dm^{-3})	70	308	140	144	178	110	50	35

Q.sup = Quartil Superior; Q.inf = Quartil Inferior; DP = Desvio Padrão; CV% = Coeficiente de Variação.

Do ponto de vista da geoestatística, a variabilidade para os teores de fósforo e potássio ficaram na faixa moderada, conforme a tabela 8, tendo valores de alcance de 700 m para o fósforo e 500 m para o potássio. Segundo Drescher et al. (1995), estudando o comportamento do solo logo após realizar intervenções com a adubação fosfatada, ocorreu acúmulo de fósforo disponível próximo à superfície do solo e, para o potássio disponível, verificou-se incremento ou diminuição, sem, contudo, observar-se migração no perfil do solo. Os valores do efeito Pepita para o fósforo foram de 23 e, para o potássio 1,008, destacando-se a alta variabilidade do fósforo, provavelmente influenciado pela adubação a taxa fixa no plantio com altas quantidades usadas historicamente e, o potássio, pelo alto grau de casualidade, podendo, nesse caso, ser influenciado pela ciclagem de nutrientes e acúmulo na camada superficial do solo.

Tabela 8 - Parâmetros geoestatísticos dos principais atributos químicos do solo avaliados no inverno de 2003, talhão Lagoa, RS.

Variável	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	Modelo	Grau de causalidade	Dependência Espacial
Fósforo (mg dm^{-3})	23	84	700	Esférico	27	Moderada
Potássio (mg dm^{-3})	1,008	2,514	500	Esférico	40	Moderada

⁽¹⁾ Efeito Pepita: semivariância a espaço zero; Patamar: semivariância a um espaço maior que a distância do alcance; Alcance: distância após a qual os valores das propriedades não são espacialmente correlacionados; Modelos ajustados aos semivariogramas experimentais: Esférico, Exponencial e Gaussiano, Dependência espacial IDE (forte $\leq 25\%$; moderada 25 a 75%; fraca $\geq 75\%$ a 100 e ≥ 100 Efeito Pepita puro); Cambardella (1994).

Na classificação proposta pela Comissão...(2004), a área apresenta valores nas diferentes classes, havendo a tendência de os teores situarem-se nos patamares de alto e muito alto, nesse caso, somando-se 80% da área tabela 9. Também é nítida a associação dos teores mais baixos de fósforo (figura 08) nas áreas onde os teores de argila são mais elevados, isso é devido à alta sorção do fósforo em solos na qual a fração argila está composta, predominantemente, por oxihidróxidos de ferro e de alumínio mais caulinita, tais como os latossolos do Planalto do RS. Pela distribuição segundo o critério TC, conforme a tabela 9, a distribuição das faixas de classificação entre o teor crítico TC1, representa 20% no total, e entre valores TC2 e TC3, representa 39.2% e 25% respectivamente, tendo, com isso, a amplitude de variação incrementada e, nesse caso, a probabilidade de resposta à adubação fosfatada é pequena. Esse comportamento pode ser visualizado na figura 6, onde há subáreas contínuas com teores altos e baixos no solo. Assim, o uso agrícola através da adição de fertilizante e constante reciclagem de nutrientes pode contribuir com incrementos nos teores de fósforo disponível do solo, mas é importante considerar a ressalva de Rheinheimer et al, (1999), de que a interferência humana no ciclo natural do fósforo pode ser degradativa do ponto de vista ambiental.

Tabela 9 - Faixa de interpretação dos teores de fósforo no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme o teor de argila (Comissão 2004) e segundo Critério (TC) na área Lagoa 2003 - Não-Me-Toque - RS.

Comissão 2004			
Faixas de interpretação (1)	mg dm ⁻³	ha	%
Muito Baixo	≤ 3,0	0	0
Baixo	3,1 – 6,0	7,8	6
Médio	6,1 - 9,0	19,2	14
Alto	9,1 - 18,0	52,8	40
Muito Alto	> 18,0	52,4	40
Critério (TC)			
Referencia *TC	mg dm ⁻³	ha	%
**TC1	0 – 9	26,5	20
TC2	9,1 – 18	51,6	39,2
TC3	18,1 – 27	34	25,8
TC4	27,1 – 36	19,4	14,6
TC5	36,1 - 45	0,5	0,4

(1) Teores de argila: classe 2 = 41 a 60 %

*TC (Teor crítico = 9 mg dm⁻³)

(**TC1 = 1xTC; TC2 = 2xTC; TC3 = 3xTC; TC4 = 4xTC; TC5 = 5xTC)

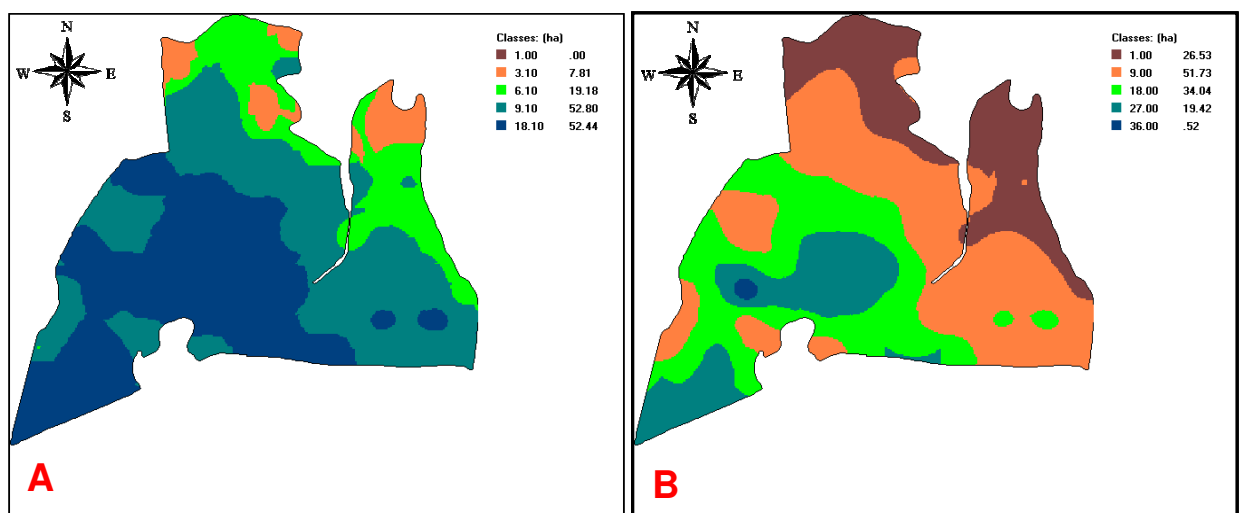


Figura 6 - (A) Mapa de fósforo (2003) no solo mg dm⁻³, segundo Comissão 2004; (B) segundo critério (TC).

Para os teores de potássio, de acordo com a Comissão (2004), os valores em 69,4% da área estão muito altos e os demais 30% altos, conforme a tabela 9. Isso pode estar ligado ao histórico de adubação com formulações priorizando o potássio na sua composição. No

entanto, se utilizarmos a distribuição segundo o critério TC, nota-se que a concentração das áreas estão preferencialmente distribuídas entre valores de TC2 com 24,7%, TC3 com 63,1% e TC4 com 11,4% do total. Isso pode, tanto, ser atribuído à época de coletas de amostras, que foram executadas após a colheita do milho, quanto ao tempo de plantio direto implantado na área, permitindo a reciclagem de nutriente e o armazenamento na palhada da cultura antecessora. Alguns estudos mostram a rápida velocidade de liberação do K, independente da espécie envolvida e da época do corte, e destacam que esse fato, provavelmente, está associado à natureza do nutriente que ocorre na forma iônica nas plantas, não participando de nenhuma das estruturas orgânicas (ANDRADE, 1997).

Tabela 10 - Faixa de interpretação dos teores de potássio no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme Comissão (2004) e segundo Critério TC, na área Lagoa 2003 - Não-Me-Toque - RS. Comissão 2004

Faixa de interpretação (1)	mg dm ⁻³	ha	%
Muito Baixo	≤ 20	0	0
Baixo	21 - 40	0	0
Médio	41 - 60	0,6	0,5
Alto	61 - 120	39,9	30
Muito Alto	> 120	91,6	69,4

Critério (TC)			
Referencia *TC	mg dm ⁻³	Área - ha	%
**TC1	0 – 60	0,2	0,16
TC2	61 – 120	32,8	24,7
TC3	121 – 180	83,3	63,1
TC4	181 – 240	15,0	11,4
TC5	241 - 300	0,9	0,7

⁽¹⁾ CTC_{pH 7,0} (5 – 15 cmol_c dm⁻³)

*TC (Teor crítico = 60 mg dm⁻³)

(**TC1 = 1xTC; TC2 = 2xTC; TC3 = 3xTC; TC4 = 4xTC; TC5 = 5xTC)

A distribuição espacial do potássio, vista na figura 7, induz a associação de fatores ligados ao manejo, em parte, pela sua distribuição. Nesse caso, a erosão pode ter contribuído com o carreamento desse íon do solo, pois o potássio não faz parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica, sendo, portanto, muito vulnerável no que diz respeito à mobilidade no

solo, principalmente em áreas onde há fluxo preferencial de água e baixa cobertura vegetal. Além disso, na figura 7, pode-se observar que, em solos mais arenosos, os níveis de potássio são mais baixos; isso porque a capacidade do solo de armazenar nutriente depende do teor e do tipo de argila presente, o que afeta o poder tampão do potássio, que é a relação entre a quantidade de potássio na forma sólida e a quantidade de potássio, presente na solução, que pode ser liberada.

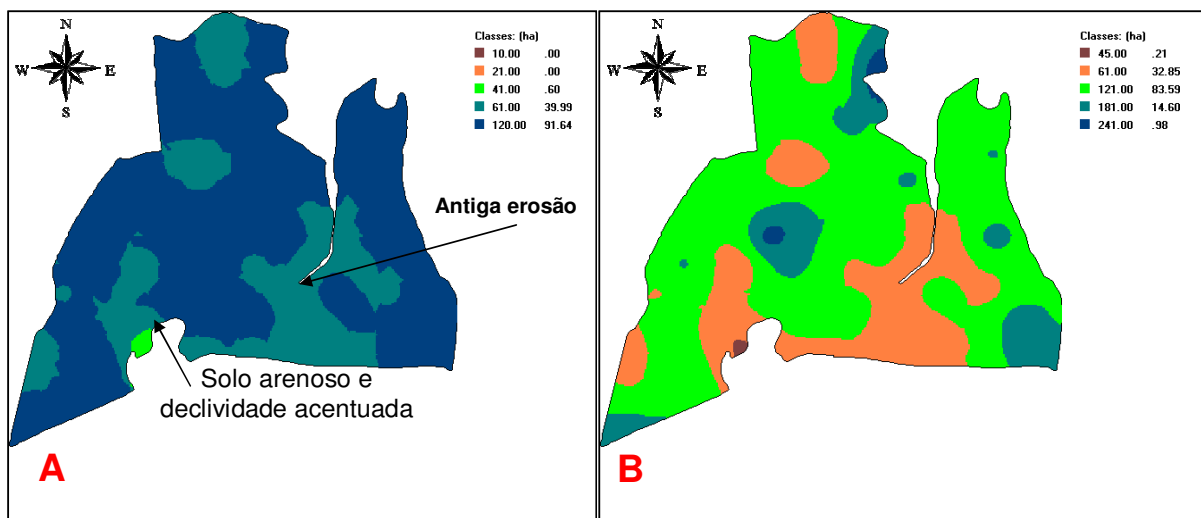


Figura 7 - (A) Mapa de potássio (2003) no solo mg dm^{-3} , segundo Comissão (2004); (B) segundo critério (TC).

A distribuição dos nutrientes, coletados no ano de 2005, mostrou que a argila possui variação com (CV) de 16,9, sendo considerada como variabilidade média, conforme a tabela 11. Com isso, o solo pertence à classe 02 – (41-60%) argila, tendo seu valor médio de 55%, conforme a mesma tabela. O fósforo é o nutriente que apresentou 44% no valor do (CV), diminuindo em 10% em relação ao ano de 2003, porém continuando a ser classificado, de acordo com Warrick e Nielsen (1980), como variabilidade média. O valor médio subiu 23% em relação ao ano de 2003; isso se deve, provavelmente, à aplicação a taxa variada feita na safra agrícola 2004/05, em que se priorizou a aplicação de doses maiores de fósforo nas áreas com deficiência. Para o potássio, o (CV) diminuiu 20% em relação ao ano de 2003, ficando com o valor de 28%, sendo, assim, classificado como variabilidade média. O valor médio subiu 24% em relação a 2003, tendo apresentado 178 mg dm^{-3} nesse ano. Isso se deve, provavelmente, à utilização de formulação com alto valor de potássio na sua composição e aos teores altos encontrados já no ano de 2003.

Para os demais nutrientes, vale ressaltar que o maior valor (CV%) foi encontrado para a saturação por alumínio (%) – 150%. Contudo, o valor médio ficou em 3,6%. Para o pH, o valor médio ficou em 5,5 em geral. Nesse caso, não haveria a necessidade de aplicação de calcário, segundo a Comissão (2004). O valor médio de matéria orgânica ficou em 2,7%, não apresentando variações significativas na área e com (CV%) de 14%. Vale ressaltar que a capacidade produtiva do solo está mais relacionada ao declínio do teor de MO e mesmo da atividade biológica do que à elevação de teores de nutrientes (AMADO et al... 2004).

Tabela 11 - Parâmetros estatísticos dos atributos químicos do solo avaliados no talhão Lagoa – Não-Me-Toque, inverno – 2005, RS.

Variável	Parâmetro estatístico							
	Mínimo	Máximo	Mediana	Méd.	Q. sup.	Q. inf.	DP	CV%
Argila (%)	37	78	54	55	62	48	9,3	16,9
Fósforo (mg dm ⁻³)	5,0	56	21	22,8	28	15	10	44
Potássio (mg dm ⁻³)	70	340	165	178	220	140	51	28
CTC (cmolc dm ⁻³)	3,6	10	6,9	6,9	7,8	6,2	1,1	16
Matéria Orgânica (%)	0,6	3,9	2,8	2,7	3,0	2,6	0,4	14
pH H ₂ O (1:1)	4,7	6,0	5,6	5,5	5,7	5,4	0,2	4,0
Índice SMP	4,8	6,4	6,0	5,9	6,1	5,8	0,3	4,5
Alumínio (cmolc dm ⁻³)	0,0	2,0	0,1	0,22	0,25	0,1	0,3	132
Magnésio (cmolc dm ⁻³)	0,4	3,3	2,3	2,18	2,76	1,7	0,7	31
Cálcio (cmolc dm ⁻³)	0,8	6,3	4,09	4,1	4,9	3,3	1,1	27
Saturação por Al (%)	0,0	39	1,5	3,6	4,0	1,1	5,4	150

Q.sup = Quartil Superior; Q.inf = Quartil Inferior; DP = Desvio Padrão; CV% = Coeficiente de Variação

Para os resultados apresentados na tabela 12, é importante destacar a presença de dependência espacial da argila, sendo considerada forte, de acordo com a classificação proposta por Cambardella (1994). Esse autor resalta que os atributos que apresentaram forte dependência espacial são mais influenciados por propriedades intrínsecas do solo, como textura e mineralogia, enquanto que os que apresentaram fraca dependência são mais influenciados por fatores externos, principalmente pelo manejo do solo. Segundo Dellamea

(2008), com o manejo a taxa variada houve incremento nos índices de correlação, passando de 22%, anteriormente à intervenção, para 27 %, e, 13% para 34 %, respectivamente. Pode-se atribuir esse fato ao manejo diferenciado na fertilização por diferentes doses desses nutrientes na safra 2006/07, o que proporcionou um aumento nos teores nas zonas com níveis abaixo da suficiência. Conforme Amado e Santi (2007), os macronutrientes fósforo e potássio são alguns dos principais elementos que determinam a produtividade da soja: o fósforo, por participar das divisões celulares e do metabolismo das plantas, garantindo uma maior retenção das vagens da soja; e o potássio, por ser um ativador enzimático e por participar na abertura e fechamento dos estômatos, mecanismo fundamental para manter as células túrgidas, garantindo menores perdas por evapotranspiração em anos com estiagens.

Para o fósforo e o potássio, a dependência espacial mostrou-se moderada, tendo no alcance valores semelhantes e considerados altos, Isso permite validar o trabalho de amostragem que considerou a distância de 100 x 100 m entre as amostras, o que indica que a variação entre as amostras é consistente. A diferença do Efeito Pepita em relação ao patamar do semivariograma indica que quanto maior for essa diferença, maior a continuidade do fenômeno, e menor a variância da estimativa ou maior a confiança que se pode ter nessa estimativa (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). Para os demais nutrientes, a dependência espacial mostrou-se moderada, tendo o maior valor no alcance para o alumínio (1000 m) e o menor para o magnésio (200 m).

Tabela 12 - Parâmetros geoestatísticos dos principais atributos químicos do solo avaliados no inverno de 2005 , talhão Lagoa, RS.

Variável (1)	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	Modelo	Grau de causalidade	Dependência Espacial
Argila (%)	13	87	800	Esférico	15	Forte
Fósforo (mg dm ⁻³)	35	103	700	Esférico	34	Moderada
Potássio (mg dm ⁻³)	696	2597	700	Esférico	27	Moderada
CTC (cmol _c dm ⁻³)	0,45	1,32	700	Esférico	34	Moderada
Matéria Orgânica (%)	0,07	0,15	300	Esférico	47	Moderada
pH H ₂ O (1:1)	0,02	0,05	700	Esférico	40	Moderada
Índice SMP	0,02	0,07	700	Esférico	36	Moderada
Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	0,03	0,09	1000	Esférico	33	Moderada
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	0,25	0,45	200	Esférico	54	Moderada
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	0,41	1,25	700	Esférico	33	Moderada
Saturação por Al (%)	12	30	1000	Esférico	39	Moderada

(1) Efeito Pepita: semivariância a espaço zero; Patamar: semivariância a um espaço maior que a distância do alcance; Alcance: distância após a qual os valores das propriedades não são espacialmente correlacionados; Modelos ajustados aos semivariogramas experimentais: Esférico, Exponencial e Gaussiano, Dependência espacial IDE (forte $\leq 25\%$; moderada 25 a 75%; fraca $\geq 75\%$ a 100 e ≥ 100 Efeito Pepita puro); Cambardella, (1994).

Os dados da tabela 13 mostram que a distribuição dos níveis de fertilidade, segundo a Comissão (2004), estão em níveis: alto 31%, muito alto 66%, e, apenas 3% no nível médio. Isso se deve, em parte, à aplicação prioritária feita nas zonas onde o fósforo estava mais baixo na safra agrícola 2004/05. Quando é utilizado o critério TC, nota-se que há concentração das áreas entre valores três vezes acima do teor crítico, com 39,2% próximo ao TC2 e 25,8% próximos ao TC3, somando juntos 68% da área. Essa amplitude também é influenciada pela distribuição do teor de argila, pois, mesmo com a alocação do fósforo nas áreas com teores mais baixos, haverá o componente textural influenciando na amplitude da distribuição do fósforo,

Tabela 13 - Faixa de interpretação dos teores de fósforo no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme o teor de argila (Comissão 2004) e segundo critério TC, na área Lagoa 2005 - Não-Me-Toque - RS.

Comissão 2004			
Faixa de interpretação (1)	mg dm ⁻³	ha	%
Muito Baixo	≤ 3,0	0	0
Baixo	3,1 – 6,0	0	0
Médio	6,1 - 9,0	3,9	3,0
Alto	9,1 - 18,0	41,6	31
Muito Alto	> 18,0	86,6	66
Critério (TC)			
Referência *TC	mg dm ⁻³	ha	%
**TC1	0 – 9	26,5	20
TC2	9,1 – 18	51,6	39,2
TC3	18,1 – 27	34	25,8
TC4	27,1 – 36	19,4	14,6
TC5	36,1 - 45	0,5	0,4

(1) Teores de argila: classe 2 = 41 a 60 %

*TC (Teor crítico = 9 mg dm⁻³)

(**TC1 = 1xTC; TC2 = 2xTC; TC3 = 3xTC; TC4 = 4xTC; TC5 = 5xTC)

Na figura 8, pode-se visualizar a diminuição das áreas com teores baixos de fósforo e, também, associar a variação dos teores de fósforo com o teor de argila, tendo uma correlação, nesse caso, de -0,55 evidenciando, que, quanto maiores os teores de argila, menores os teores de fósforo disponíveis no solo, conforme o anexo 2. Já, com a altitude, a correlação com o fósforo aumenta para -0,87 visto que, nas áreas mais altas, os teores de argila são menores e os de fósforo, maiores. Também se nota que houve uma diminuição da correlação entre o fósforo e a altitude, passando de 0,76 em 2001 para 0,65 em 2005. Isso se deve principalmente à diminuição da amplitude de variação dos teores de fósforo nas partes mais baixas do terreno, pois nessa parte da área foram aplicadas as maiores doses de fósforo e, assim, os teores no solo tiveram acréscimo.

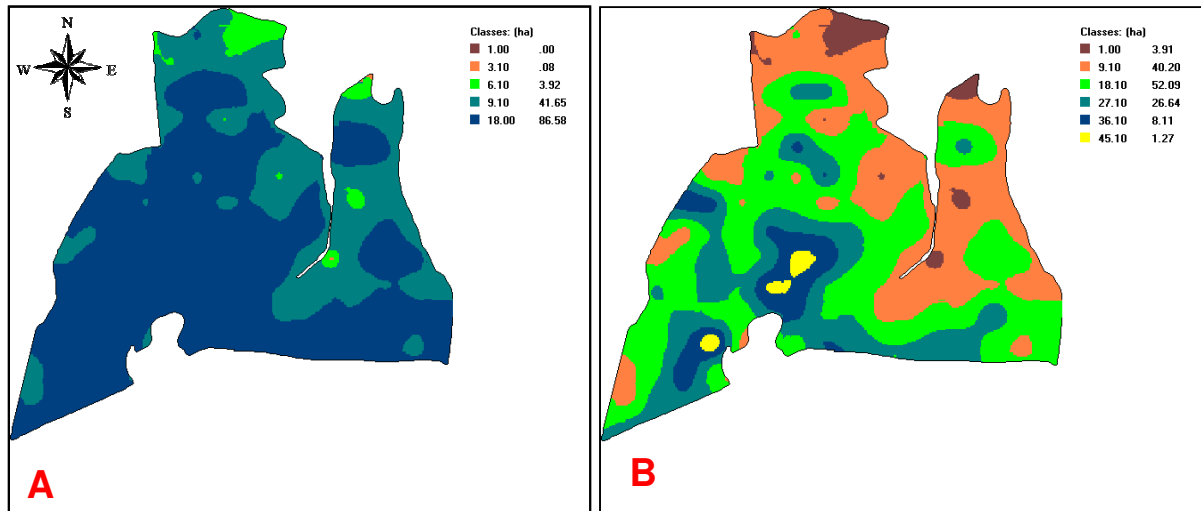


Figura 8 - (A) Mapa de fósforo (2005) no solo mg dm^{-3} , segundo Comissão (2004); (B) segundo critério (TC).

A distribuição dos valores de potássio apresentada na tabela 14, mostra que a maioria da área, 95%, está classificada como muito alta, segundo a Comissão (2004). Também se pode observar que a correlação de argila com potássio aumentou de 0,25 em 2001 para 0,65 em 2005, conforme o anexo 2. Importante destacar que, na safra agrícola de 2004/05, foi utilizada uma formulação com alta concentração de potássio e isso pode ter contribuído para a elevação dos níveis, em geral, de potássio em toda a área e principalmente nas áreas onde havia maiores teores de argila. Assim, com a adição de doses elevadas da formulação nos locais onde havia fósforo baixo, obteve-se ganho significativo desse nutriente; porém, como a composição da formulação NPK 00-12-28 continha alta concentração de potássio e os níveis no solo já se encontravam altos nessa área, os ganhos de potássio foram mais significativos que os de fósforo, aumentando a correlação existente entre argila, potássio e altitude, conforme o anexo 2.

Tabela 14 - Faixa de interpretação dos teores de potássio no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme Comissão (2004) e segundo Critério TC, na área Lagoa , 2005 - Não-Me-Toque - RS,

Comissão 2004			
Faixa de interpretação ¹	mg dm ⁻³	ha	%
Muito Baixo	≤ 20	0	0
Baixo	21 - 40	0	0
Médio	41 - 60	0	0
Alto	61 - 120	6,6	5
Muito Alto	> 120	125,6	95

Critério (TC)			
Referência *TC	mg dm ⁻³	Área - ha	%
**TC1	0 – 60	0	0
TC2	61 – 120	4,4	3,3
TC3	121 – 180	73,8	55,9
TC4	181 – 240	40,2	30,4
TC5	241 - 300	13,05	9,9
TC6	301 - 360	0,77	0,6

⁽¹⁾ CTC_{pH 7,0} (5 - 15 cmol_c dm⁻³)

*TC (Teor crítico = 60 mg dm⁻³)

(**TC1 = 1xTC; TC2 = 2xTC; TC3 = 3xTC; TC4 = 4xTC; TC5 = 5xTC; TC6 = 6xTC)

Na figura 9A, está evidenciada pequena subárea com influência da erosão, demonstrando a importância do manejo com plantas de cobertura para evitar a perda de nutrientes, principalmente o potássio. Aplicações superficiais de fertilizantes tendem potencializar as perdas de nutrientes por erosão, pois o acúmulo na camada superficial aumenta e o não revolvimento do solo contribui para que os nutrientes fiquem mais suscetíveis à erosão. Já na figura 9B, observa-se que, mesmo com o manejo em dois cultivos a taxa variada, a amplitude de variação dos teores de potássio no solo tende a se manter. Também vale ressaltar que, com altos teores no solo, tendo valores com até 6 vezes o TC, tabela 14, não é de se esperar redução significativa dos teores, pois as culturas anteriormente instaladas (milho e trigo) têm alta capacidade de reciclar nutrientes. De acordo com Ceretta (2003), o acúmulo de nutrientes está diretamente relacionado com a quantidade de resíduos vegetais aportados e a exportação de nutrientes pelos grãos. Com isso, o potássio tende a se acumular na superfície, pois geralmente as plantas absorvem quantidades elevadas desse

elemento, mas somente uma pequena fração do total absorvido é exportada pelos grãos. Assim, com a manutenção da palha em superfície, ocorre uma adubação superficial para as culturas subsequentes. O que ajuda a explicar a manutenção dos altos teores no solo ao longo das culturas.

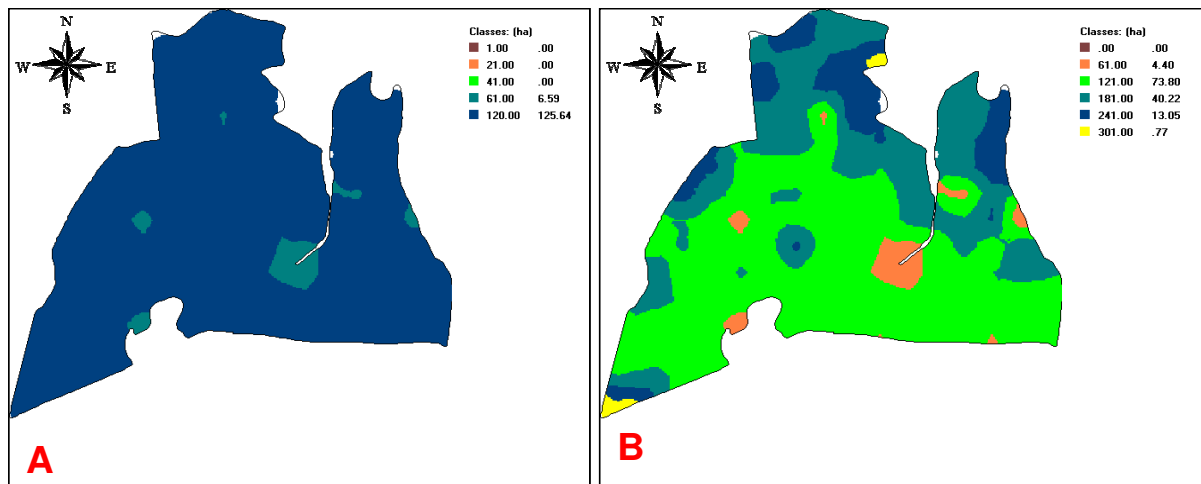


Figura 9 - (A) Mapa de potássio (2005) no solo mg dm^{-3} , segundo Comissão (2004) ; (B) segundo critério (TC).

Os dados, apresentados na tabela 15, mostram que houve um ganho para o fósforo no valor médio de 31% em relação ao ano de 2004, passando de 22,8 para 30 mg dm^{-3} , isso porque, nos anos de 2005, na cultura do trigo e, posteriormente, na safra 2005/06 de soja, foram feitas aplicações a taxa variada, levando-se em consideração os teores de fósforo no solo e, como critério, elevar os teores baixos ainda existentes, para valores médios. Para os teores de potássio, os valores médios também tiveram acréscimo de 14%, passando de 178 mg dm^{-3} , em 2005, para 202 mg dm^{-3} . As diferenças em relação ao CV aumentaram para o fósforo, passando de 44% para 52%, respectivamente. Para o potássio, a tendência foi diminuir o CV de 28% para 20%, respectivamente. Os valores de pH baixaram de 5,5 para 5,4, juntamente com o índice de SMP, de 6,4 para 6,1. Essa acidificação ocorre nos primeiros centímetros do solo e é caracterizada pela diminuição do pH e incremento dos teores de alumínio trocável e alumínio solúvel (Salet, 1994). Esse processo se deve a aplicações de fertilizantes nitrogenados em forma amídica e amoniacal e à própria mineralização dos resíduos mantidos em superfície.

Tabela 15 - Parâmetros estatísticos dos atributos químicos do solo avaliados no talhão Lagoa – Não-Me-Toque, inverno – 2006, RS.

Parâmetro Estatístico								
Variável	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Q. sup	Q. inf	DP	CV%
Argila (%)	37	78	54	55	62	48	9,3	17
Fósforo (mg dm ⁻³)	8,0	70	25	30	40	17	16	52
Potássio (mg dm ⁻³)	104	332	204	202	224	176	41	20
CTC (cmol _c dm ⁻³)	5,4	11	8,8	8,7	9,4	8,1	1,15	13
Matéria Orgânica (%)	2,2	4,5	2,7	2,8	2,9	2,5	0,3	11
pH H ₂ O (1:1)	4,9	5,9	5,4	5,4	5,6	5,3	0,2	3,8
Índice SMP	5,6	6,5	6,1	6,1	6,2	5,9	0,2	3,2
Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	0,0	1,0	0,1	0,2	0,2	0,1	0,14	83
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	1,2	3,2	2,3	2,3	2,6	2,1	0,36	15
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	3,4	8,0	5,7	5,7	6,2	5,3	0,85	15
Saturação Al (%)	0,0	10,3	1,3	2,1	2,5	1,1	1,7	83

Q.sup = Quartil Superior; Q.inf = Quartil Inferior; DP = Desvio Padrão; CV% = Coeficiente de Variação

A tendência dos atributos de solo, de acordo com a tabela 16, é a manutenção da dependência espacial moderada. Isso está justificado por serem os valores do alcance relativamente altos, O maior valor de alcance ficou com o pH com 1000 m, e o menor, para a matéria orgânica, com 200 m. Assim, é possível afirmar que a metodologia de coleta, com espaçamento de 100 x 100 m, é suficiente, nesse caso, para a caracterização dos atributos químicos de solo. Gonçalves (1997) mediu o pH, a matéria orgânica, a acidez trocável, o P disponível e as bases trocáveis em uma malha de espaçamento variável, de forma a abordar as variações em micro e em macroescala. Embora os resultados demonstrem baixa variabilidade do pH em relação às outras propriedades, os autores enfatizavam que o conhecimento do padrão de variabilidade permitia a identificação de padrões de amostragem adequados para pesquisas futuras.

Tabela 16 - Parâmetros geoestatísticos dos principais atributos químicos do solo avaliados no inverno de 2006 , talhão Lagoa, RS.

Variável	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	Modelo	Grau de causalidade	Dependência Espacial
Argila (%)	13	87	800	Esférico	15	Forte
Fósforo (mg dm ⁻³)	72	252	700	Esférico	29	Moderada
Potássio (mg dm ⁻³)	824	1703	300	Esférico	50	Moderada
CTC (cmol _c dm ⁻³)	0,49	1,35	500	Exp,	36	Moderada
Matéria Orgânica (%)	201	332	200	Esférico	60	Moderada
pH H ₂ O (1:1)	0,014	0,017	1000	Exp,	40	Moderada
Índice SMP	0,01	0,038	800	Esférico	39	Moderada
Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	0,009	0,021	300	Esférico	45	Moderada
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	0,047	0,132	600	Esférico	36	Moderada
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	0,272	0,719	800	Esférico	38	Moderada
Saturação por Al (%)	1,28	3,01	300	Exp,	43	Moderada

⁽¹⁾ Efeito Pepita: semivariância a espaço zero; Patamar: semivariância a um espaço maior que a distância do alcance; Alcance: distância após a qual os valores das propriedades não são espacialmente correlacionados; Modelos ajustados aos semivariogramas experimentais: Esférico, Exponencial e Gaussiano, Dependência espacial IDE (forte $\leq 25\%$; moderada 25 a 75%; fraca $\geq 75\%$ a 100 e ≥ 100 efeito Pepita puro); Cambardella, 1994.

A distribuição dos teores de fósforo, apresentados na tabela 17, conforme a Comissão (2004), mostram que a evolução dos teores permitiu extinguir os valores muito baixos e baixos que nos anos anteriores ainda persistiam, tendo nas classes alto 27% e 72% na classe muito alto. Segundo Sá (1995), a ausência de revolvimento do solo no plantio direto e a manutenção dos resíduos culturais na superfície e no perfil possibilitam, além da redução dos efeitos de imobilização, a redistribuição do P em formas orgânicas mais estáveis e menos suscetíveis às perdas por retenção. Assim, com a manutenção de diferentes plantas de cobertura do solo (milho, trigo, nabo, aveia), o armazenamento de fósforo no solo tende a ser crescente, influenciado, também, pelo critério adotado na distribuição a taxa variada que atendeu à exportação média das culturas instaladas. Mesmo assim, devem-se diminuir as quantidades de fósforo, principalmente, nas áreas muito acima do TC, conforme a tabela 17 e seguindo o critério TC, pois, nessas partes da lavoura, pode haver desequilíbrio na absorção de outros nutrientes e também o risco de haver contaminação ambiental com a perda desse nutriente para aquíferos e cursos d'água próximos. Ainda vale ressaltar, que, mesmo com a taxa variada, há uma tendência de -0,65 de correlação entre os teores de argila e fósforo no

solo, conforme o anexo 3, sendo, assim, a dinâmica de disponibilidade afetada pela constituição mineralógica desse solo.

Tabela 17 - Faixa de interpretação dos teores de fósforo no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme o teor de argila (Comissão 2004) e segundo Critério (TC) na área Lagoa, 2006 - Não-Me-Toque – RS.

Comissão 2004			
Faixa de interpretação ¹	mg dm ⁻³	ha	%
Muito Baixo	≤ 3,0	0	0
Baixo	3,1 – 6,0	0	0
Médio	6,1 - 9,0	1,05	0,8
Alto	9,1 - 18,0	35,7	27
Muito Alto	> 18,0	95,5	72
Critério (TC)			
Referência *TC	mg dm ⁻³	ha	%
**TC1	0 – 9	0,92	0,7
TC2	9,1 – 18	31,2	23,6
TC3	18,1 – 27	41,2	31,2
TC4	27,1 – 36	21,2	16,1
TC5	36,1 - 45	16,2	12,3
TC6	45,1 – 54	13,7	10,4
TC7	54,1 – 60	3,6	2,7
TC8	60,1 - 69	4,2	3,2

(1)Teores de argila: classe 2 = 41 a 60 %

*TC (Teor crítico = 9 mg dm⁻³)

(**TC1 = 1xTC; TC2 =2xTC; TC3 = 3xTC; TC4 = 4xTC; TC5 = 5xTC; TC6 = 6xTC; TC7 = 7xTC; TC8 = 8xTC)

Na figura 10 A, pode-se observar que a variação nos teores de fósforo, de acordo com a classificação proposta pela Comissão (2004), está concentrada em duas zonas preferenciais, tendo valores altos e muito altos. Também é possível observar que a distribuição dos teores de fósforo, figura 10B, continua com amplitude elevada. Isso pode estar relacionado ao curto período entre as intervenções e à reamostragem do solo, pois, em geral, não houve cortes significativos na adubação nas áreas com altos teores no solo. Nesse caso, é provável que o solo tenha alto poder de tamponamento e também esteja com alta capacidade de reciclagem de

nutrientes, devido à alta concentração de restos culturais a ele adicionados. Portanto, faz-se necessário ressaltar a importância de serem os critérios de determinação das doses de aplicação a taxa variada construídos sobre recomendações que permitam explorar a capacidade de fornecimento de nutrientes pelo solo, nesses pontos onde os teores se encontram muito acima dos considerados responsivos à adubação.

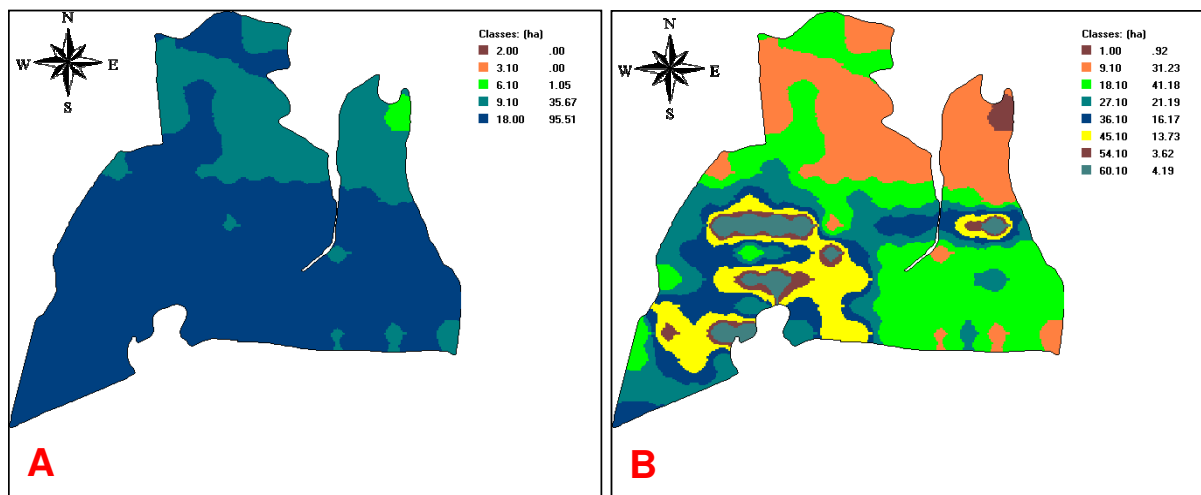


Figura 10 - (A) Mapa de fósforo (2006) no solo mg dm^{-3} , segundo Comissão (2004); (B) segundo critério (TC).

Os resultados, apresentados na tabela 18, mostram que, segundo a classificação proposta pela Comissão (2004), os teores no solo apresentam valores considerados muito altos, na sua maioria. Essa condição foi, possivelmente, influenciada pela adição histórica de altos valores de potássio via formulação, opção imprópria para o manejo a taxa variada, pois a distribuição da variabilidade horizontal do fósforo mostrou-se diferente da distribuição horizontal do potássio. Entretanto, esses valores altos de potássio no solo podem ter contribuído para a obtenção de altos rendimentos das culturas, pois, de acordo com afirmação feita por Scindwein e Gianello (2005), para a obtenção de altos rendimentos as culturas necessitam de mais nutrientes para seu crescimento e exportação. Também a manutenção de valores altos de potássio no solo depende muito do sistema de cultivo, tendo, nesse caso, vários anos de plantio direto e rotação de culturas, incluindo o milho e o nabo forrageiro. A estratégia de utilização de elevada quantidade de fitomassa, associada ao sistema plantio direto, representa a base do desenvolvimento de uma agricultura que valoriza os processos

biológicos, principalmente a ciclagem de nutrientes, sendo considerada primordial para alcançar a sustentabilidade (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002).

Tabela 18 - Faixa de interpretação dos teores de potássio no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme Comissão (2004) e segundo Critério TC, na área Lagoa, 2006 - Não-Me-Toque - RS.

Comissão 2004			
Faixa de interpretação (1)	mg dm ⁻³	ha	%
Muito Baixo	≤ 20	0	0
Baixo	21 - 40	0	0
Médio	41 - 60	0	0
Alto	61 - 120	0,7	0,5
Muito Alto	> 120	131,5	95
Critério (TC)			
Referência *TC	mg dm ⁻³	Área - ha	%
**TC1	0 - 60	0	0
TC2	61 - 120	0,47	0,35
TC3	121 - 180	34,6	26,2
TC4	181 - 240	84,0	63,6
TC5	241 - 300	12,5	9,5
TC6	301 - 360	0,65	0,5

⁽¹⁾ CTC_{pH 7,0} (5 - 15 cmol_c dm⁻³)

*TC (Teor crítico = 60 mg dm⁻³)

(**TC1 = 1xTC; TC2 = 2xTC; TC3 = 3xTC; TC4 = 4xTC; TC5 = 5xTC; TC6 = 6xTC)

A figura 11 A apresenta o mapa de potássio com distribuição dos valores na classe muito alta, representando 99% da área com distribuição contínua do potássio. Já na figura 11B, pode-se observar que há um certo deslocamento dos teores para valores próximos da média, mesmo que sejam considerados muito altos. Essa condição se manteve, pois, com as aplicações a taxa variada nas culturas anteriores, houve, em geral, saldo positivo quanto à saída desse nutriente via exportação das culturas. Do mesmo modo, vale lembrar que o sistema de rotação de culturas, adotado com plantas de cobertura no inverno, e milho a cada duas safras de verão, pode ter contribuído para a manutenção dos níveis de potássio no solo.

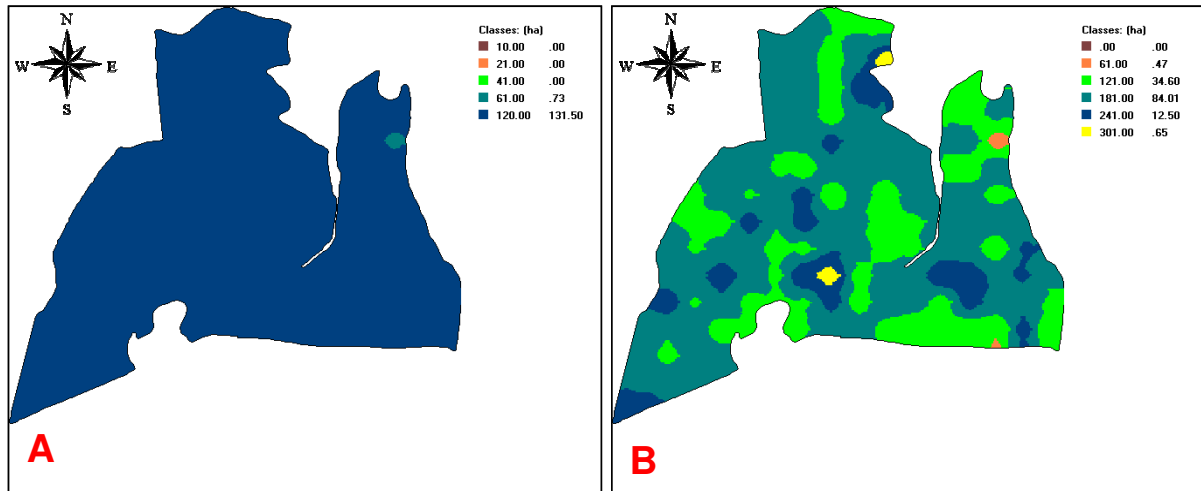


Figura 11 - (A) Mapa de potássio (2006) no solo mg dm^{-3} , segundo Comissão (2004) ; (B) segundo critério (TC).

A diversidade da natureza promove variações responsáveis pela heterogeneidade do solo, tanto vertical, como horizontalmente. O fato ocorre porque o próprio material de origem não é uniforme em toda a sua extensão, ou seja, o material de origem não sofre o processo de intemperização de forma homogênea e contínua. Nas camadas superficiais, os solos são mais intemperizados (BUOL et al., 1997). Assim, pode-se observar, na tabela 19, que a distribuição nos teores de argila, segundo a Comissão (2004), varia, tendo 0,2% da área pertencente à classe 3, 66% na classe 2 e 34%, na classe 1. A presença dessa distribuição no teor de argila pode estar associada à amplitude de variação da altitude do terreno, pois há uma distribuição significativa entre as classes de altitude, e uma diferença de 60 m entre o ponto mais baixo e o ponto mais alto da área. Vale ressaltar que a amplitude de variação do terreno teve como consequência uma correlação de - 0,20 entre o teor de argila e o fósforo e, 0,35 entre argila e potássio, mostrando, assim, que nas partes mais argilosas há a presença de maiores teores de potássio e menores teores de fósforo, conforme o anexo 4. Também com relação ao potássio e à altitude há correlação de -0,36 entre eles, destacando, assim, a influência do fluxo preferencial das águas e o relevo mais plano como ponto de chegada desse nutriente. Com isso, as estratégias de manejo devem, na sua essência, correlacionar tais parâmetros, visto que a dinâmica dos nutrientes não atenderá ao mesmo padrão de disponibilidade e o comportamento da água no solo poderá ser variável ao longo do ciclo das culturas.

A variabilidade, tanto espacial como temporal, da disponibilidade hídrica dos solos é de fundamental importância na quantificação das necessidades hídricas dos vegetais,

(ALFONSI et al...1998), e de grande importância para a análise do comportamento de uma cultura, pois são variações de umidade no solo e, conseqüentemente, do armazenamento de água no perfil. É preciso considerar que a variabilidade espacial do armazenamento de água no solo é função direta de sua umidade, que varia espacialmente no sentido horizontal e em profundidade. De acordo com Santi (2007), o monitoramento da disponibilidade de água nas áreas de plantio direto, onde as principais limitações de fertilidade do solo já foram equacionadas, torna-se uma importante observação, pois há uma forte evidência de que esse atributo possa ser o principal determinante da variabilidade de rendimento observado em áreas de plantio direto, especialmente em anos com déficit hídrico.

Tabela 19 - Faixa de interpretação de teores Argila (Comissão, 2004), área em hectares e frequência percentual de distribuição na área - Schmidt 2003, Não-Me-Toque - RS.

Argila		Altitude			
Faixa	Classe	Área	Frequência	Altitude (m)	Área (ha)
%		ha	%		
≤ 20	4	0	0	440 - 450	7,7
21 - 40	3	0,3	0,2	450 - 460	14,5
41 - 60	2	83	66	460 - 470	39
>60	1	42	33,8	470 - 480	26,6
-	-	-	-	480 - 490	21,7
-	-	-	-	490 - 500	15,9

Como consequência da amplitude de variação, tanto no teor de argila quanto na altitude, há uma correlação de -0,74, conforme o anexo 4. Esse comportamento também foi encontrado anteriormente no talhão Lagoa, evidenciando a necessidade de relevância desses atributos, pois tendem a se manter ao longo dos anos, e podem ter influência direta ou indireta na manutenção dos nutrientes no solo e na definição de zonas de potencial produtivo. Segundo Souza et al... (2001), a associação das formas da paisagem à variabilidade espacial dos atributos dos solos tem contribuído para a identificação e mapeamento de áreas mais homogêneas, com limites mais precisos entre elas, o que permite que técnicas agronômicas possam ser transferidas com facilidade e economia para ambientes semelhantes. Na figura 12 (A) e (B), nota-se a presença dos maiores teores de argila nas regiões mais baixas do terreno.

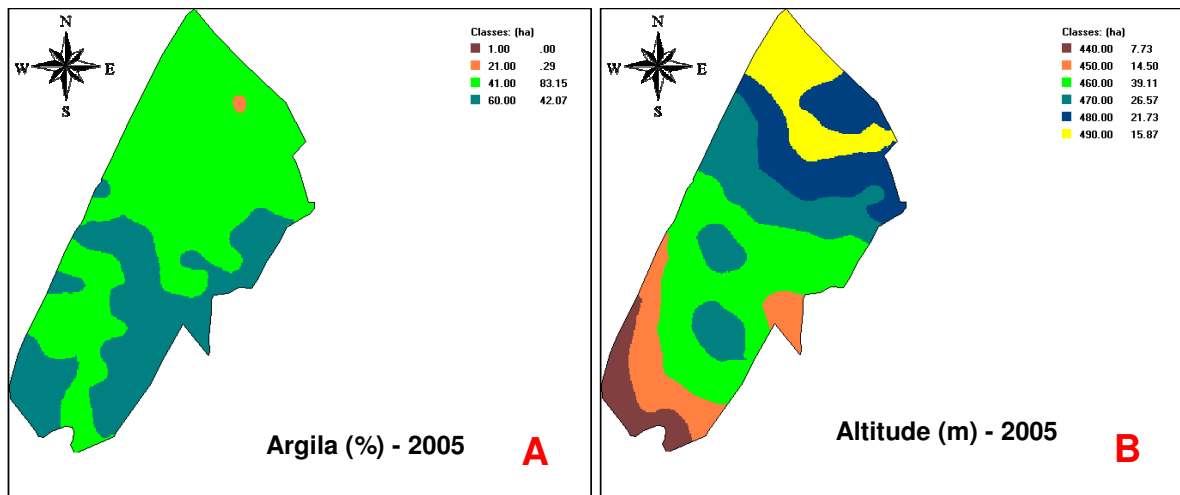


Figura 12 - (A) Mapa de argila (%), segundo a classificação Comissão (2004) (A) e mapa de altitude (m) – (B).

Na avaliação dos resultados das análises de solo realizadas no talhão Schmidt, no ano de 2003, apresentados na tabela 20, o mesmo foi classificado como médio para o fósforo (CV%) de 39% e para o potássio (CV%) 36%; conforme a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), em baixa ($CV < 12\%$), média ($12 < CV < 62\%$) e alta ($CV > 62\%$) quanto aos valores do coeficiente de variação (CV %). Já a amplitude de variação entre o valor mínimo e máximo chegou a 661% para o fósforo e, para o potássio, a diferença ficou em 475%. Os valores médios de fósforo situaram-se em torno de 27 mg dm^{-3} , enquanto o potássio assumiu valor médio de 356 mg dm^{-3} .

Tabela 20 - Parâmetros estatísticos dos atributos químicos do solo avaliados no talhão Schmidt – Não-Me-Toque, 2003, RS.

Variável	Parâmetro Estatístico							
	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Q. sup	Q. inf	DP	CV%
Fósforo (mg dm^{-3})	8,8	67	26	27	34	19	11	39
Potássio (mg dm^{-3})	146	840	336	356	432	264	128	36

Q.sup = Quartil Superior; Q.inf = Quartil Inferior; DP = Desvio Padrão; CV% = Coeficiente de Variação

A dependência espacial dos dados, apresentada na tabela 21, foi considerada moderada para o fósforo e potássio, conforme a classificação proposta por Cambardella (1994). Para os valores de alcance, ambos os nutrientes, fósforo 700 m e potássio 400 m, validaram a

metodologia de coleta de solo com espaçamento de 100 m entre os pontos. Os modelos ajustados foram o esférico, sendo que, em ambos os casos, o efeito pepita comportou-se como menor que o patamar, demonstrando assim, a existência da variabilidade espacial.

Tabela 21 - Parâmetros geoestatísticos dos principais atributos químicos do solo avaliados no ano de 2003, talhão Schmidt, RS.

Variável	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	Modelo	Grau de causalidade	Dependência Espacial
Fósforo (mg dm ⁻³)	47	113	700	Esférico	42	Moderada
Potássio (mg dm ⁻³)	6,235	16,458	400	Esférico	38	Moderada

⁽¹⁾ Efeito Pepita: semivariância a espaço zero; Patamar: semivariância a um espaço maior que a distância do alcance; Alcance: distância após a qual os valores das propriedades não são espacialmente correlacionados; Modelos ajustados aos semivariogramas experimentais: Esférico, Exponencial e Gaussiano, Dependência espacial IDE (forte $\leq 25\%$; moderada 25 a 75%; fraca $\geq 75\%$ a 100 e ≥ 100 efeito Efeito Pepita puro); Cambardella, 1994.

Os resultados apresentados na (tabela 22) mostram que há um predomínio dos valores de fósforo na classe alta, 13% e 86,4% na classe muito alta, e apenas 0,6% na classe média, segundo a classificação proposta pela Comissão (2004). Entretanto, quando o intervalo entre as classes de fósforo é aumentado, conforme o Critério TC, pode-se observar que há uma amplitude muito significativa de pontos entre valores próximos a três vezes o TC, tendo pequena quantidade de pontos próximos ao TC 19% e, se considerarmos valores extremos entre seis e sete vezes o valor do TC, tem-se 7% dos pontos nessa faixa de classificação. Vale destacar que, no sistema plantio direto, a acumulação de nutrientes na superfície está associada ao manejo desses nutrientes. Nesse caso, a propriedade tem um histórico de longos anos de aplicação a lanço, o que pode contribuir para a elevação dos teores nas camadas superficiais do solo. De acordo com Eltz et al... (1989), a aplicação de adubos nas lavouras, durante longo período de tempo, tende a aumentar a concentração de fósforo e potássio na superfície do solo, especialmente na semeadura direta sem revolvimento do solo. A tendência observada é de acumulação de nutrientes nas camadas superficiais do solo no sistema de semeadura direta, pois, além de não haver revolvimento do solo, há o acúmulo de nutrientes no tecido das plantas cultivadas, o qual posteriormente sofre decomposição, ficando os nutrientes depositados na superfície do solo, conseqüentemente incrementando os níveis nas camadas mais superficiais.

Tabela 22 - Faixa de interpretação dos teores de fósforo no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme o teor de argila (Comissão 2004) e segundo Critério (TC) na área Schmidt - 2003 - Não-Me-Toque – RS.

Comissão 2004			
Faixa de interpretação (1)	mg dm ⁻³	ha	%
Muito Baixo	≤ 3,0	0	0
Baixo	3,1 – 6,0	0	0
Médio	6,1 - 9,0	0,8	0,6
Alto	9,1 - 18,0	16,4	13
Muito Alto	> 18,0	108,3	86,4
Critério (TC)			
Referência *TC	mg dm ⁻³	ha	%
**TC1	0 – 9	0,7	0,6
TC2	9,1 – 18	12,6	10,1
TC3	18,1 – 27	52,6	42,1
TC4	27,1 – 36	43,4	34,7
TC5	36,1 - 45	11,8	9,4
TC6	45,1 – 54	3,5	2,8
TC7	54,1 – 60	0,7	0,6

(1)Teores de argila: classe 2 = 41 a 60 %

*TC (Teor crítico = 9 mg dm⁻³)

(**TC1 = 1xTC; TC2 =2xTC; TC3 = 3xTC; TC4 = 4xTC; TC5 = 5xTC; TC6 = 6xTC; TC7 = 7xTC;)

A presença de variação nos teores de argila indica que a associação entre a argila e o fósforo pode estar influenciando a disponibilidade desse nutriente, visto que o manejo da adubação a taxa fixa de fertilizante, em anos anteriores, pode ter contribuído para a maior variação nos teores de fósforo no solo. Isso acontece porque a adição de fertilizantes em áreas com diferentes quantidades de argila, tendem a aumentar a amplitude de variação do nutriente, visto que a disponibilidade depende do grau de adsorção entre a argila, principalmente, e o fósforo. Nesse caso, a correlação existente entre argila e fósforo ficou em -0,20, anexo 4, destacando-se que, quanto maiores os valores de argila, menores são os valores de fósforo encontrados. Por isso, as frações mais lábeis são dependentes do grau de intemperização do solo, da mineralogia, da textura, do teor de matéria orgânica, das características físico-químicas, da atividade biológica e da vegetação predominante (CROSS;

SCHLESINGER, 1995). Nota-se também, na figura 13 B, que a maior parte dos pontos estão concentrados entre o TC3 e o TC4, somando 76,8%.

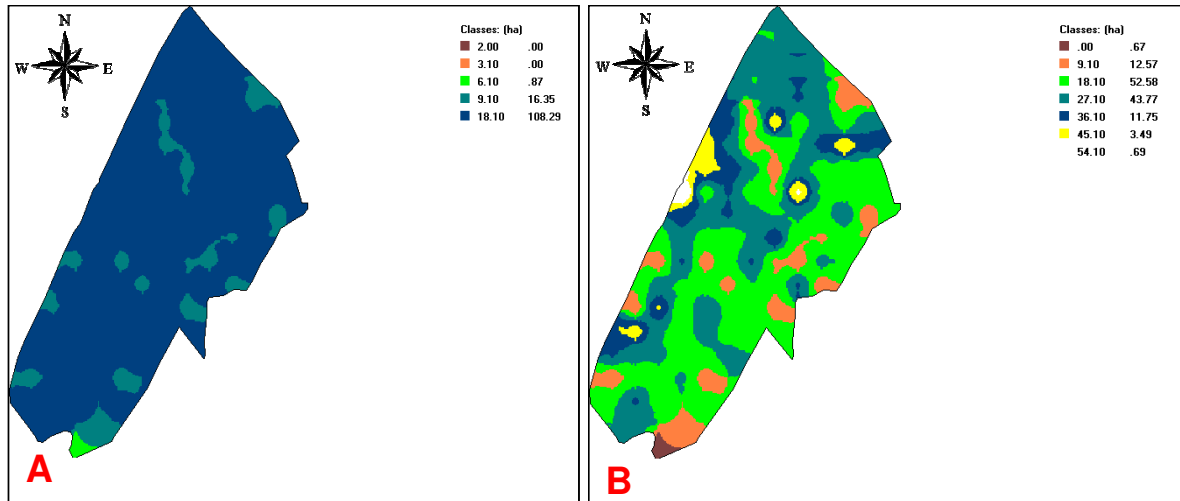


Figura 13 - (A) Mapa de fósforo (2003) no solo mg dm^{-3} , segundo Comissão (2004) ; (B) segundo critério (TC).

Com a classificação proposta pela Comissão (2004), apresentada na tabela 23, pode-se observar que 100% da área está na classe muito alta. Já, se for utilizado o Critério TC, a distribuição das subáreas concentra-se entre valores de cinco vezes o TC, chegando a ter valores até nove vezes esse critério. Isso permite inferir que as adições de potássio nas culturas anteriores, juntamente com o sistema plantio direto com rotação de culturas, permitiu o acúmulo de altas quantidades de potássio no solo, havendo, com isso, a possibilidade de serem ampliadas em muito as diferenças de variação nas doses de aplicação pela amplitude desse elemento no solo. Porém, às vezes, essa condição é deixada de lado, pois o produtor adquire formulações visando não somente à manutenção do equilíbrio dos nutrientes no solo, mas também a sua economicidade. O aumento do potássio no solo pode ter o efeito competitivo sobre a absorção do Ca e do Mg, e, nesse caso, poderá estar influenciando no equilíbrio dos cátions na planta, pois a sua presença na solução do solo é mais intensa, nesse caso, devido ao menor grau de atração do potássio pelas cargas negativas do solo (Barber & Humbert, 1963). Nessa condição, a probabilidade de se ter resposta a adubação potássica, principalmente, é pequena; entretanto, se considerarmos o sistema plantio direto como altamente capacitado a armazenar nutrientes e ciclá-lo, é provável que, em culturas subsequentes, seja possível a redução gradativa da adição de potássio ao solo, visando ao

equilíbrio dos nutrientes e à manutenção do elemento em níveis aceitáveis para a condição de altos rendimentos.

Tabela 23 - Faixa de interpretação dos teores de potássio no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme Comissão (2004) e segundo Critério TC, na área Schmidt - 2003 - Não-Me-Toque - RS.

Comissão 2004			
Faixa de interpretação (1)	mg dm ⁻³	ha	%
Muito Baixo	≤ 20	0	0
Baixo	21 - 40	0	0
Médio	41 - 60	0	0
Alto	61 - 120	0	0
Muito Alto	> 120	125	100
Critério (TC)			
Referência *TC	mg dm ⁻³	Área - ha	%
**TC1	0 - 60	0	0
TC2	61 - 120	0	0
TC3	121 - 180	5,6	4,5
TC4	181 - 240	13,9	11
TC5	241 - 300	27,8	22
TC6	301 - 360	25,9	20,7
TC7	360 - 420	26,6	21,3
TC8	420 - 480	13,9	11,1
TC9	480 - 840	13,42	10,7

⁽¹⁾ CTC_{pH 7,0} (5 - 15 cmol_c dm⁻³)

*TC (Teor crítico = 60 mg dm⁻³)

(**TC1 = 1xTC; TC2 = 2xTC; TC3 = 3xTC; TC4 = 4xTC; TC5 = 5xTC; TC6 = 6xTC; TC7 = 7xTC; TC8 = 8xTC; TC9 = 9xTC)

Na figura 14A, pode-se observar que as diferenças, pela classificação proposta pela Comissão (2004) são inexistentes. Porém, na figura 14B, nota-se a grande amplitude de variação, mesmo com níveis de potássio tão elevados no solo. Essa condição pode estar relacionada à época de amostragem de solo, que foi realizada após a cultura do milho, tendo esse, sido adubado com formulação altamente concentrada em potássio (00-12-28), em torno de 330 kg ha, e pelo histórico de adubação desse talhão, que recebia quantidades significativas

de potássio a lançar em culturas anteriores. Nessa área, houve uma correlação de +0,35 entre o teor de argila e o potássio no solo (anexo 4), pois a mesma apresenta variabilidade considerada forte. Outro componente importante é o fato de que a altitude teve correlação com o teor de argila com valor próximo a -0,36 (anexo 4), indicando que o acúmulo de potássio nessa condição também deve ser atribuído ao fluxo preferencial da água e ao sistema de manejo implantado.

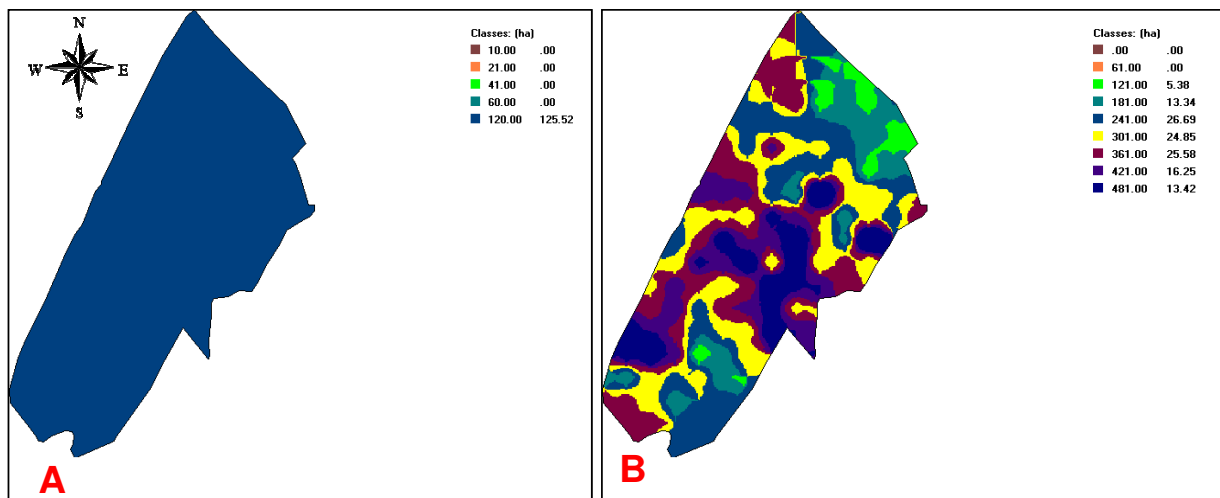


Figura 14 - (A) - Mapa de potássio (2003) no solo mg dm^{-3} , segundo Comissão (2004); (B) segundo critério (TC).

Os resultados apresentados na tabela 24 mostram que o pH e o índice de SMP do solo apresentaram valores de coeficiente de variação CV considerados baixos, conforme a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980): em baixa ($CV < 12\%$), média ($12 < CV < 62\%$) e alta ($CV > 62\%$). Nesse caso, o histórico de calagem do talhão, segundo dados do produtor, indica que, desde 1999, a área recebeu 2,5 ton/ha de calcário dolomítico a taxa fixa. No entanto, os demais nutrientes enquadraram-se na classe média de variação, desde 16% para a CTC até 36% para o fósforo. Comparando-se com os dados de 2003, pode-se observar que houve uma redução no CV do fósforo na ordem de 3% e, para o potássio, 13%. Essa redução no CV do potássio pode estar relacionada à diminuição dos valores extremos de potássio encontrados no solo, e, também pela época de amostragem, que ocorreu na cultura de cobertura (aveia – inverno), no estágio inicial de desenvolvimento, enquanto que, em 2003 a coleta ocorreu logo após a colheita do milho, sendo que havia sido utilizada adubação com altos teores de potássio na composição. Para os valores médios, houve uma

redução no valor na ordem de 15% para o fósforo, enquanto que para o potássio a redução foi na ordem de 15%. Uma das explicações para isso pode ter sido o momento da coleta, pois em 2003 foi feita no final do ciclo do nabo forrageiro e em 2005, quando a aveia de cobertura estava no estágio vegetativo ainda. Nota-se que há pouca variação no pH do solo e também que não há alumínio.

Tabela 24 - Parâmetros estatísticos dos atributos químicos do solo avaliados no talhão Schmidt – Não-Me-Toque, 2005, RS.

Variável	Parâmetro Estatístico							
	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Q. sup	Q. inf	DP	CV%
Argila (%)	36	81	57	56	62	51	7,8	14
Fósforo (mg dm ⁻³)	4,8	70	22	23	28	16	8,2	36
Potássio (mg dm ⁻³)	164	522	296	301	348	256	68	23
CTC (cmol _c dm ⁻³)	6,5	15	11	11	12	9,6	1,7	16
Matéria Orgânica (%)	2,1	3,9	3,0	2,9	3,3	2,6	0,4	14
pH H ₂ O (1:1)	5,6	6,6	6,1	6,1	6,2	6,0	0,3	3,4
Índice SMP	6,3	7,0	6,6	6,6	6,7	6,5	0,16	2,41
Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	0	0	0	0	0	0	0	0
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	1,5	4,2	2,7	2,6	3,0	2,3	0,5	18
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	4,5	11	7,2	7,4	8,2	6,4	1,2	17
Saturação por Al (%)	0	0	0	0	0	0	0	0

Q.sup = Quartil Superior; Q.inf = Quartil Inferior; DP = Desvio Padrão; CV% = Coeficiente de Variação

Na tabela 25, pode-se observar que a argila possui dependência espacial forte, porém possui o alcance relativamente alto, em torno de 800m. Outro atributo que apresentou dependência espacial forte foi a matéria orgânica, também com um alcance de 800m. Segundo Trangmar et al, (1985), o alcance define o raio máximo para o qual amostras vizinhas são usadas para interpolação por técnicas de krigagem. Assim, baixos valores de alcance podem influir na qualidade das estimativas, uma vez que poucos pontos são usados para realização da interpolação. Nesse caso, a malha de um ponto por hectare de amostragem atingiu o objetivo de caracterizar esses atributos de solo. Para os demais nutrientes a dependência espacial mostrou-se moderada, tendo alcance variado de 500 m para o magnésio e 1100 m para o fósforo. Esse comportamento traduz a importância de um bom manejo, visto que os atributos,

que tiveram a dependência espacial classificada como moderada, são os mais influenciados pelo manejo do solo. Como a área em estudo possui mais de 20 anos de plantio direto com rotação de culturas, é notável que haja uma estabilização do sistema plantio direto.

Tabela 25 - Parâmetros geoestatísticos dos principais atributos químicos do solo avaliados no ano de 2005, talhão Schmidt, RS.

Variável	Efeito Pepita	Patamar	Alcance	Modelo	Grau de causalidade	Dependência Espacial
Argila (%)	14	61	800	Esférico	24	Forte
Fósforo (mg dm ⁻³)	30	69	1100	Esférico	43	Moderada
Potássio (mg dm ⁻³)	1,657	4,623	1000	Esférico	36	Moderada
CTC (cmol _c dm ⁻³)	0,74	2,87	800	Esférico	26	Moderada
Matéria Orgânica (%)	0,034	0,167	800	Esférico	22	Forte
pH H ₂ O (1:1)	0,013	0,0403	600	Esférico	33	Moderada
Índice SMP	0,0085	0,0255	600	Esférico	33	Moderada
Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	-	-	-	-	-	-
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	0,068	0,233	500	Esférico	31	Moderada
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	0,407	1,524	800	Esférico	27	Moderada
Saturação por Al (%)	-	-	-	-	-	-

⁽¹⁾ Efeito Pepita: semivariância a espaço zero; Patamar: semivariância a um espaço maior que a distância do alcance; Alcance: distância após a qual os valores das propriedades não são espacialmente correlacionados; Modelos ajustados aos semivariogramas experimentais: Esférico, Exponencial e Gaussiano, Dependência espacial IDE (forte ≤ 25%; moderada 25 a 75%; fraca ≥ 75% a 100 e ≥ 100 Efeito Pepita puro); Cambardella, 1994.

Os resultados, apresentados na tabela 26, indicam que houve uma redistribuição dos teores de fósforo, conforme a Comissão (2004), na classe alta com 24% e 76% na classe muito alta. Segundo o critério TC, observa-se que a distribuição preferencial dos pontos de amostragem de solo está concentrada entre valores de três vezes o teor crítico, 58,3% do total de pontos. Além disso, a presença de altos teores pode também estar relacionada com o processo de amostragem, visto que a presença de material orgânico (raízes e restos culturais) pode contribuir para a elevação desse nutriente, pois o método Mehlich-1 tem o objetivo de extrair todo o fósforo do solo, e parte desse nutriente poderia estar retida na estrutura dos tecidos orgânicos em decomposição. A matéria orgânica pode ser considerada uma fonte potencial de fósforo para as plantas por causa da ciclagem biológica, em que microorganismos e raízes podem mineralizar o fósforo orgânico por meio da síntese e

exsudação de fosfatases (ROSS et al, 1995). Nesse intervalo de tempo foi utilizado o nabo, com alta capacidade de ciclar nutrientes.

Tabela 26 - Faixa de interpretação dos teores de fósforo no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme o teor de argila (Comissão 2004) e segundo Critério (TC) na área Schmidt - 2005 - Não-Me-Toque - RS.

Comissão 2004			
Faixa de interpretação (1)	mg dm ⁻³	ha	%
Muito Baixo	≤ 3,0	0	0
Baixo	3,1 – 6,0	0	0
Médio	6,1 - 9,0	0,4	0,3
Alto	9,1 - 18,0	30	24
Muito Alto	> 18,0	95	76
Critério (TC)			
Referência *TC	mg dm ⁻³	ha	%
**TC1	0 – 9	0,38	0,3
TC2	9,1 – 18	26,3	21
TC3	18,1 – 27	72,9	58,3
TC4	27,1 – 36	24	19,2
TC5	36,1 - 45	1,36	1,1
TC6	45,1 – 54	0,58	0,5

(1)Teores de argila: classe 2 = 41 a 60 %

*TC (Teor crítico = 9 mg dm⁻³)

(**TC1 = 1xTC; TC2 = 2xTC; TC3 = 3xTC; TC4 = 4xTC; TC5 = 5xTC; TC6 = 6xTC.)

A distribuição dos teores de fósforo na figura 15A, segundo a classificação proposta pela Comissão (2004), mostra que não há diferenças significativas ou subáreas significativas com valores de fósforo muito distintos. Já, na figura 15B, nota-se que a amplitude de variação tende a ser decrescente a partir de valores no solo em torno de 11 mg dm⁻³, e que ainda existem valores extremos, mas com pouca representatividade de pontos.

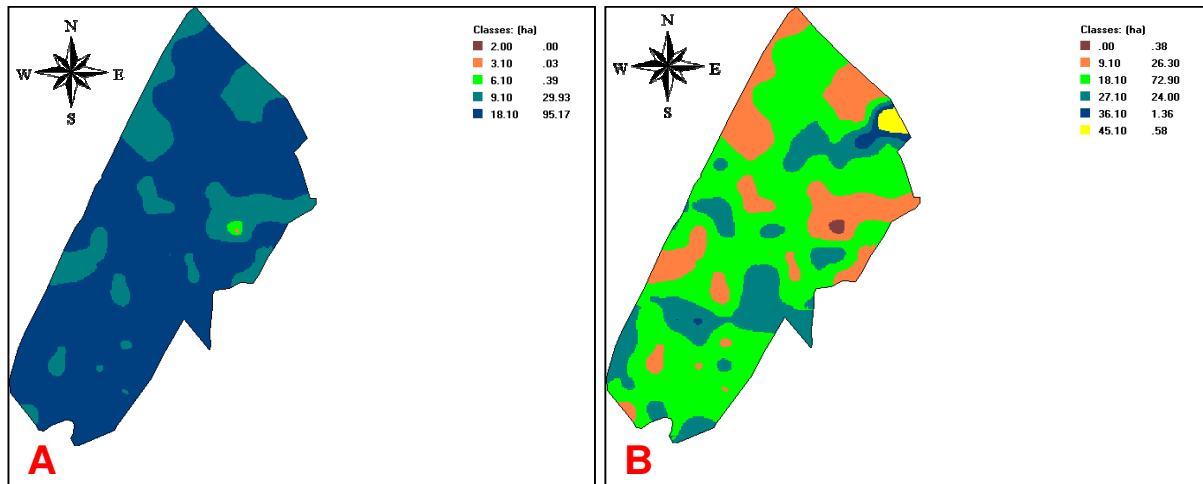


Figura 15 – (A) Mapa de fósforo (2005) no solo mg dm^{-3} , segundo Comissão (2004); (B) segundo critério (TC).

A distribuição dos teores de potássio no solo, apresentados na tabela 27, segundo a Comissão (2004), aponta valores somente na classe muito alto, com 100% de distribuição. Entretanto, quando é utilizada a classificação segundo o Critério TC, observa-se que há concentração dos pontos de amostragem de solo em torno dos valores de TC5 e TC6, representando 77,9% dos pontos. Essa condição foi influenciada, principalmente, pela adição de formulação contendo alta concentração de potássio e pela utilização de nabo forrageiro como planta de cobertura, pela alta capacidade em armazenar potássio na sua estrutura vegetativa e após liberar para a solução do solo. Com relação à amostragem anterior, houve pequenas mudanças na forma de amostrar o solo, mas a maioria da área continua com teores elevados de potássio, tendo em vista que, no sistema plantio direto, as perdas são pequenas e os teores no solo são, na maioria, muito altos.

Tabela 27 - Faixa de Faixa de interpretação dos teores de potássio no solo extraído pelo método Mehlich-1, conforme Comissão (2004) e segundo Critério TC na área Schmidt - 2005 - Não-Me-Toque – RS.

Comissão 2004			
Faixa de interpretação (1)	mg dm ⁻³	Ha	%
Muito Baixo	≤ 20	0	0
Baixo	21 - 40	0	0
Médio	41 - 60	0	0
Alto	61 - 120	0	0
Muito Alto	> 120	125	100

Critério (TC)			
Referência *TC	mg dm ⁻³	Área - ha	%
**TC1	0 – 60	0	0
TC2	61 – 120	0	0
TC3	121 – 180	0,1	0,1
TC4	181 – 240	14,3	11,4
TC5	241 - 300	51,5	41,2
TC6	301 - 360	45,9	36,7
TC7	361 – 420	9,9	7,9
TC8	421 - 480	3,4	2,7
TC9	481 - 840	0,3	0,2

⁽¹⁾ CTC_{pH 7,0} (5 – 15 cmol_c dm⁻³)

*TC (Teor crítico = 60 mg dm⁻³)

(**TC1 = 1xTC; TC2 = 2xTC; TC3 = 3xTC; TC4 = 4xTC; TC5 = 5xTC; TC6 = 6xTC; TC7 = 7xTC; TC8 = 8xTC; TC9 = 9xTC)

Com relação à figura 16 A, pode-se observar que não há variação do nutriente potássio no solo, de acordo com a classificação proposta pela Comissão... (2004), sendo considerado 100% na faixa como muito alta. Tal comportamento também pode ser visto na figura 16 B, pela distribuição dos valores de potássio no solo com teores muito altos. Essa condição se manteve desde a primeira amostragem, em 2003, pois não houve reduções nas doses de potássio. Convém destacar que, na safra agrícola 2004/05, ocorreu uma forte estiagem e, como havia sido utilizada uma formulação contendo altos teores de potássio (produtor havia adquirido anteriormente a recomendação), e a quantidade exportada pela cultura da soja foi pequena, esse saldo contribuiu para a manutenção de teores considerados muito altos no solo.

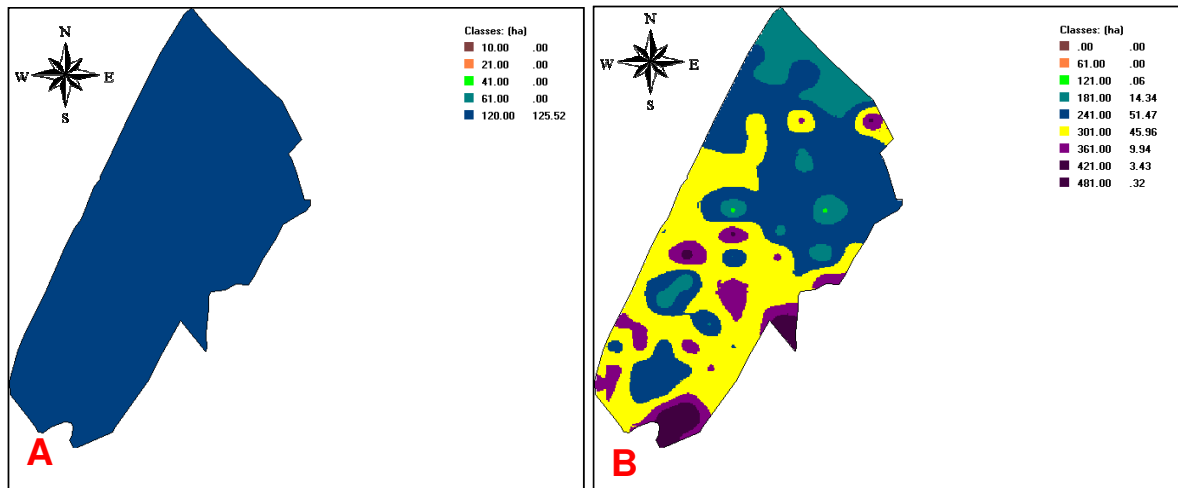


Figura 16 - (A) Mapa de potássio (2003) no solo mg dm⁻³, segundo Comissão... (2004); (B) segundo critério (TC).

A correlação entre atributos de solo e mapas de produtividade permite indicar quais dos elementos estão influenciando a produtividade das culturas, bem como indicar possíveis associações diretas ou indiretas com outros atributos de ordem física e biológica. Vale lembrar que, nesse caso, os atributos de solo que sofreram intervenção a taxa variada, ao longo dos anos, foram o fósforo e o potássio. Sabe-se, também, que o potencial produtivo de uma área é influenciado por inúmeros fatores referentes ao solo, relevo, clima, potencial genético, adubação, tratamentos culturais, etc. Dessa forma, é importante salientar que os principais atributos de solo estudados neste trabalho já estavam, na sua maioria, em níveis altos e muito altos, dependendo da classificação Comissão... (2004) ou Critério TC.

Assim, pode-se observar na tabela 23, que a correlação da altitude do terreno com dados de produtividade foi mais relevante no ano de 2003, com a cultura do trigo. Nesse caso, as partes mais altas do terreno foram as que mais produziram, podendo estar associadas aos maiores valores de fósforo no solo e às melhores condições fitossanitárias existentes durante o ciclo da cultura do trigo. Já no ano de 2005, a correlação entre altitude e produtividade do trigo apresentou valores negativos de -0,29. Isso pode estar associado à aplicação de altas doses de fósforo, visto que nas partes mais baixas do terreno encontravam-se os menores valores. Na cultura do trigo foram utilizadas doses maiores do fertilizante. Também esse comportamento pode estar associado ao efeito residual da cultura antecessora, pois nesses locais foram aplicadas altas doses de formulação e houve um aumento significativo dos teores de potássio.

No entanto, as correlações de produtividade com teor de argila, ao longo dos anos, apresentaram valores de 0,30 em 2003 e 0,42 em 2005, ambas na cultura do trigo. Isso pode

estar associado aos maiores teores de matéria orgânica nessas partes do talhão, visto que onde há maiores valores de argila existe a tendência de haver maiores valores de matéria orgânica, chegando a 0,20, conforme o anexo 5. Para o fósforo, as correlações oscilaram de maneira positiva, com valores de 0,20 para a safra 2001/02 de milho e 0,16 na safra 2002/03, para a cultura da soja, dados referentes à amostragem de 2001. Já com a amostragem realizada no ano de 2003, a correlação com a cultura do milho, na safra agrícola 2004/05, obteve valor de 0,16 referente à amostragem de 2003, voltando a ser positiva com a coleta de solo no ano 2006, com o a safra de milho 2007/08, embora com valor de 0,14.

As correlações de produtividade com o potássio no solo obtiveram os maiores valores nas safras agrícolas 2001/02, com 0,26 para a cultura do milho e 0,30 para a cultura do trigo no ano de 2003, referentes à amostragem feita no ano de 2001. A partir das amostragens realizadas nos anos de 2003, 2005 e 2006, as correlações apresentaram valores positivos, porém com baixo grau de expressão. Na safra agrícola de 2005/06, os valores apresentaram-se negativos, -0,15, pois justamente onde havia os maiores valores de potássio, houve a implantação de uma cultivar de soja que produziu em torno de 600 kg ha⁻¹ a menos, em média, do que o restante da área. De maneira geral, os dados concordam com Stafford et al...(1996), que, analogamente, investigaram a relação entre a variação dos teores de nutrientes do solo e a variação na produtividade de um determinado ano, sem que fossem detectadas dependências significativas. Blackmore et al.. (1999), do mesmo modo, não encontraram evidências de qualquer nutriente de solo ou pH, oriundos de levantamento em malha como fator limitante para o desenvolvimento da cultura.

Para os valores de correlação de cálcio, o maior valor foi de 0,40 com o trigo 2005. Também na cultura da soja 2006/07 observou-se 0,15 de correlação positiva. Para o magnésio, o maior valor 0,26 ocorreu na safra agrícola 2007/08 com a cultura do milho e 0,14 com a cultura da soja, no ano de 2006/07. Essa correlação positiva entre os valores de cálcio e magnésio pode estar relacionada aos altos teores de potássio no solo. Assim, a quantidade de potássio disponível no solo tende a se relacionar com os teores de Ca e de Mg, tanto do complexo de troca, quanto da solução do solo, que estão diretamente correlacionados com a nutrição potássica da soja. A presença de altos teores de potássio no solo tem tornado o processo de definição de valores aceitáveis muito dinâmico, pois a influência do sistema de cultivo, rotação de culturas, e a presença de plantas com alto potencial de reciclagem desse nutriente dinâmico do potássio nos solos, têm como consequência uma diversidade de valores críticos de potássio trocável, encontrados na literatura, para a obtenção da produção relativa máxima da soja (BORKERT et al...1993).

Tabela 28 – Correlação entre atributos de solo e mapas de colheita na cultura do Milho 2001/02, Soja 2002/03, Trigo 2003, milho 2004/05, trigo 2005, soja 2005/06, soja 2006/07 e milho 2007/08, talhão Lagoa – Não-Me-Toque, RS

Atributos de solo	Coeficiente de correlação de atributos de solo com mapas de produtividade ¹ (%)								
	*Amostragem 2001			**Amostragem 2003		***Amostragem 2005		****Amostragem 2006	
	Milho 2001/02	Soja 2002/03	Trigo 2003	Milho 2004/05	Trigo 2005	Soja 2005/06	Soja 2006/07	Milho 2007/08	
Altitude (m)	- 0,01	-0,03	0,30	0,06	- 0,29	0,10	0,08	0,02	
Argila (%)	0,01	-0,26	0,30	-0,02	0,42	-0,09	0,01	0,11	
Fósforo (mg dm ⁻³)	0,20	0,13	-0,01	0,16	-0,16	- 0,01	0,04	0,14	
Potássio (mg dm ⁻³)	0,26	-0,27	0,30	0,04	0,15	-0,15	0,10	0,13	
CTC (cmol _c dm ⁻³)	-	-	-	-	0,32	- 0,05	0,15	0,15	
Matéria Orgânica (%)	-	-	-	-	0,22	0,04	0,10	0,06	
pH H ₂ O (1:1)	-	-	-	-	0,36	0,03	-0,03	0,06	
Índice SMP	-	-	-	-	0,34	-0,02	-0,06	-0,02	
Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	-	-	-	-	- 0,43	- 0,02	-0,06	-0,14	
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	-	-	-	-	0,05	- 0,03	0,14	0,26	
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	-	-	-	-	0,40	0,02	0,15	0,09	

¹Correlações obtidas com o modelo digital de pontos pelo método de Pearson ao nível de 5% de probabilidade

* Amostragem 2001 correlaciona-se com as safras agrícolas milho 2001/02, soja 2002/03 e trigo 2003

** Amostragem 2003 correlaciona-se com a safra agrícola 2004/05

*** Amostragem 2005 correlaciona-se com as safras agrícolas de trigo 2005 e soja 2005/06

**** Amostragem 2006 correlaciona-se com as safras agrícolas de soja 2006/07 e milho 2007/08

A correlação existente entre mapas de produtividade e atributos de solo varia conforme a disposição e amplitude de variação do terreno, pois os elementos do solo tendem a se correlacionar com crescimento das plantas, com o fluxo preferencial da água, com o armazenado desses no solo, etc. Primeiramente, a altitude teve baixa correlação com a produtividade da soja, 0,08, pouco significativa, pois nessa safra agrícola ocorreu estiagem severa, não podendo ser atribuída confiabilidade a esse valor, tanto que os outros atributos também não apresentaram valores significativos de correlação. Entretanto, para as safras seguintes, houve correlação negativa em todos os anos entre altitude e produtividade, com valores crescentes, porém negativos, principalmente para o milho, por ser uma planta mais suscetível a variações de umidade do solo e à disposição de radiação solar. Para a argila, os valores de correlação foram positivos, não oscilando muito ao longo das safras. Contudo, isso poderia ter efeitos indiretos na disponibilidade de água para as culturas, conforme ressalta Stafford et al, (1996), uma vez que a análise de influência do tipo de solo na variação da produtividade sugeriu que a propriedade física do solo mais provável de exercer influência na produtividade é a distribuição do tamanho das partículas, que exerce um papel principal na determinação da água disponível para as plantas.

Para os valores de fósforo, as correlações foram baixas, provavelmente porque os teores no solo apresentaram valores altos e muito altos, segundo a classificação proposta pela Comissão(2004). Quanto ao potássio também houve correlação positiva, mantendo-se ao longo das safras agrícolas, porém com pouca significância. Wendroth et al... (2001), por exemplo, também não encontraram associação espacial entre mapas de produtividade de grãos de três safras, mapas de índice de vegetação e mapas de índice de solo (que incluem diversos atributos de solo). A análise integrada dos atributos de solo e da produtividade, entretanto, poderia revelar algumas interações entre dois ou mais atributos, eventualmente capazes de influir no comportamento da produtividade e exibir alguma relação com as sub-regiões encontradas,

As melhores correlações foram encontradas com a matéria orgânica do solo, visto que ela controla processos biológicos, principalmente com o armazenamento de água e nutrientes, com valores de 0,20 para soja 2005/06, 0,15 para soja 2006/07 e 0,33 para milho 2007/08, referentes à amostragem do ano de 2005. Nesse sentido, Conceição et al... (2005), consideram a matéria orgânica como um eficiente indicador para discriminar a qualidade do solo induzida por sistemas de manejo, sendo ainda, fonte primária de nutrientes para as plantas, influenciando a infiltração, retenção de água e suscetibilidade à erosão.

Com relação à presença de altos teores de potássio na área, no geral, nota-se que houve tendência positiva de correlação dos teores de cálcio e magnésio com as culturas, atingindo o maior valor na safra agrícola 2007/08, com a cultura do milho, 0,39 com o magnésio e 0,30 com o cálcio. Esse comportamento pode estar relacionado com as altas quantidades de potássio que a cultura do milho necessita extrair para a produção de matéria seca e, conseqüentemente, a absorção de potássio está ligada à entrada de cálcio na planta de milho.

Tabela 29 – Tabela 29 – Correlação entre atributos de solo e mapas de colheita na cultura da soja 2004/05, soja 2005/06, soja 2006/07 e milho 2007/08, talhão Schmidt – Não-Me-Toque, RS.

Coeficiente de correlação de atributos de solo com mapas de produtividade ¹ (%)				
Atributos de solo	*Amostragem 2003		Amostragem 2005	
	Soja 04/05	Soja 05/06	Soja 06/07	Milho 07/08
Altitude (m)	0,08	-0,13	-0,23	-0,46
Argila (%)	0,04	0,18	0,16	0,15
Fósforo (mg dm ⁻³)	0,01	0,11	-0,03	0,02
Potássio (mg dm ⁻³)	0,14	0,08	0,12	0,12
CTC (cmol _c dm ⁻³)	-	0,29	0,18	0,34
Matéria Orgânica (%)	-	0,20	0,15	0,33
pH H ₂ O (1:1)	-	0,08	0,15	- 0,02
Índice SMP	-	0,07	0,06	0,02
Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	-	0	0	0
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	-	0,26	0,18	0,39
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	-	0,28	0,16	0,30

¹Correlações obtidas com o modelo digital de pontos pelo método de Pearson ao nível de 5% de probabilidade

3.4 Conclusões

Os resultados do manejo da fertilidade, em áreas com altos teores iniciais, têm mostrado que a amplitude de variação dos atributos fósforo e potássio têm se mantido ao longo dos anos, porém com diminuição dos valores extremos.

A dependência espacial dos atributos de solo no talhão Lagoa, nas amostragens realizadas em 2001, 2003, 2005 e 2006, foi considerada moderada para os atributos avaliados, exceto para o potássio no ano de 2001 e para a argila, em todos os anos seguintes, que apresentou dependência espacial forte.

A dependência espacial dos atributos de solo no talhão Schmidt, nas amostragens realizadas em 2003 e 2005, apresentou comportamento moderado, exceto argila e matéria orgânica que apresentaram comportamento forte no ano de 2005.

As correlações de atributos de solo com mapas de colheita foram maiores no talhão Schmidt para os atributos CTC, magnésio, matéria orgânica e cálcio e, no talhão Lagoa, houve correlação positiva, principalmente, com relação a cálcio e matéria orgânica, ao longo das safras agrícolas investigadas.

No talhão lagoa as correções entre os teores de argila e fósforo no solo apresentaram valores negativos entre si, influenciando, assim, a distribuição da variabilidade horizontal do fósforo, principalmente.

3.5 Referências bibliográficas

ALFONSI, R. R. et al. Disponibilidade hídrica no solo para a cultura do milho no Estado de São Paulo, em função de épocas de semeadura e cultivares. **Bragantia**, Campinas, v. 1, n. 1, p. 127-133, jan. 1998

AMADO, T. J. C.; ELTZ, F. L. F. Plantio Direto Em direção a sustentabilidade agrícola. **A Granja**, Porto Alegre, v. 60, n. 672, p. 59-62, dez. 2004.

AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L. Agricultura de Precisão aplicada ao aprimoramento do manejo do solo. In: FIORIN, J. E. (Coord.) **Manejo e fertilidade do solo no sistema de plantio direto**. Cruz Alta: Fundacep, 2007.

ANDRADE, A. G. **Ciclagem de nutrientes e arquitetura radicular de leguminosas arbóreas de interesse para revegetação de solos degradados e estabilização de encostas.** 1997. 182 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BARBER, S. A.; HUMBERT, R. P. Advances in knowledge of potassium relationship in the soil and plant. In: McVICKAR, M. H.; BRIDGER, G. L.; NELSON, L. B. **Fertilizer technology and uses.** Madison: SSSA, 1963. cap.11, p.231-268.

BLACKMORE, S. et al. Understanding variability in four fields in the United Kingdom. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1998, St. Paul. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy, 1999. Part A, p.3-18.

BORKERT, C.M.; SFREDO, G.J.; SILVA, D.N.da. Calibração de potássio trocável para soja em Latossolo Roxo Distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, n. 3, p. 223-226, maio/jun. 1993a.

BUOL, S. W. et al. **Soil Genesis and classification.** Iowa: Iowa State University, 1997. 527 p.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, Sept./Oct. 1994.

CERETTA, C. A.; PAVINATO, P. S. Adubação em linha ou a lanço no Plantio Direto. In: CURSO DE FERTILIDADE DE SOLO EM PLANTIO DIRETO, 6., 2003, Ibirubá. **Resumos de palestras...** Passo Fundo:Aldeia Norte, 2003, p. 23-36.

CLAY, D. E. et al. Systematic evaluation of precision farming soil sampling requirements. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1998, St. Paul. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy, 1998. Part A, p.253-65.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** 10. ed. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul: UFRGS, 2004. 400 p.

CROSS, A. F.; SCHLESINGER, W. H. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Application to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. **Geoderma**, v. 64, n. 3-4, p. 197-214, Jan. 1995.

CUNHA, G. R. **Informações meteorológicas de Passo Fundo, RS**. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/publicacoes/p_co.htm. Acesso em: novembro 2008.

DAMPNEY, P. M. R., MOORE, M. Precision agriculture in England: Current practice and research-based advice to farmers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4 , 1998, St. Paul. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy, 1999. Part A, p.661-73.

DELLAMEA, R. B. C. **Eficiência da adubação à taxa variável em áreas manejadas com agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**, 2008. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

DRESCHER, M. et al. **Avaliação da fertilidade dos solos do estado do Rio Grande do Sul e necessidades de adubos e corretivos**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 24 p.

ELTZ, F. L. F.; PEIXOTO, R. T. G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparos do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 13, n. 3, p. 259-267, maio/jun. 1989.

EMBRAPA- Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos (Rio de Janeiro). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

GANDAH, M. et al. Dynamics of spatial variability of millet growth and yields at three sites in Niger, west Africa andm implicatioTC for precision agriculture research. **Agricultural Systems**, Oxon, v. 63, n. 2, p. 123-140, Feb. 2000.

GONÇALVES, A. C. A. **Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo para fins de manejo de irrigação**. 1997. 118 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

HOPKINS, J. W. et a. Learning from yield monitors: A Bayesian approach. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1998, St. Paul. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy, 1999. Part A, p.183-93.

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

JOHNSON, G. et al. Spatial and temporal analysis of weed populations using geostatistics. **Weed Science**, Champaign, v. 44, n. 3, p. 704-710, May/June 1996.

MARQUES JÚNIOR, J. et al. Variabilidade espacial de propriedades químicas e físicas de latossolos em áreas de cerrado sob cultivo de café, em Patrocínio, MG. In: BALASTREIRE, L. A. (ed). **O estado-da-arte da agricultura de precisão no Brasil**. Piracicaba: L. A. Balastreire, 2000. p.105-12.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA J. O. Transformações bioquímicas e ciclos dos elementos do solo. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA J. O. (Ed.). **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Ed. UFLA, 2002. p. 626.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KENNEY, D. R. (Eds.) **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties. Part 2**. Madison: American Society of Agronomy, 1986.

PREVEDELLO, B. M. S. **Variabilidade espacial de parâmetros de solo e planta**. 1987. 166 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).

RHEINHEIMER, D. et al. Fósforo orgânico no solo. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.139-158.

ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Geoprocessamento. In: SILVA, F. M. **Mecanização e agricultura de precisão**. Poços de Caldas: UFV, 1998. Cap.1, p.1-30.

ROSS, D. J. et al. Soil microbial biomass, C and N mineralization and enzyme activities in a hill pasture: Influence of season and slow-release P and sorption fertilizer. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 27, n. 11, p. 1431-1443, Nov. 1995.

SÁ, J. C. M. Manejo do fósforo no sistema plantio direto. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1., Passo Fundo, 1995. **Resumos...** Passo Fundo, 1995. p. 83-94.

SALET, R. L. **Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto**. 1994. 111 f. Dissertação (Mestrado em Solos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SANTI, A. L. **Aprimoramento do manejo do solo utilizando as ferramentas da AP**. 2007. 210 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SCHLINDWEIN, J.A.; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 4, p. 611-617, jul./ago. 2000.

SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Doses de máxima eficiência econômica de fósforo e potássio para as culturas cultivadas no sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n. 85, p. 20-25, 2005.

SOUZA, L. S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. 1992. 162 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SOUZA, L. S. et al. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 367-372, maio/jun. 1997.

SOUZA, C. K. **Relação solo-paisagem-erosão e variabilidade espacial de latossolos em área sob cultivo de cana-de-açúcar no município de Jaboticabal (SP)**. 2001. 186 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

STAFFORD, J. V. et al. Mapping and interpreting yield variation in cereal crops. **Comput. Electron. Agr.**, v. 14, p.101-19, 1996.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy.**, v. 38, p. 45-93, 1985.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico de Solos, 5)

WARICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p.319-344.

WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. **Statistical methods in soil and land resource survey**. Oxford: Oxford University Press, 1990. 316 p.

WENDROTH, O. et al. Identifying, understanding, and describing spatial processes in agricultural landscapes - four case studies. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 58, n. 3-4, p.113-27, Mar. 2001

3.6 Anexos - capítulo 01

Anexo 1 – Correlação entre atributos de solo, Lagoa (2001)

Correlação entre atributos de solo				
	Argila %	Fósforo (mg dm ⁻³)	Potássio (mg dm ⁻³)	Altitude (m)
Argila (%)	1	-	-	-
Fósforo (mg dm ⁻³)	- 0,70	1	-	-
Potássio (mg dm ⁻³)	0,25	0,20	1	-
Altitude (m)	-0, 87	0,76	- 0,24	1

Anexo 2 – Correlação entre atributos de solo, Lagoa (2005)

Correlação entre atributos de solo				
	Argila %	Fósforo (mg dm ⁻³)	Potássio (mg dm ⁻³)	Altitude (m)
Argila (%)	1	-	-	-
Fósforo (mg dm ⁻³)	- 0,55	1	-	-
Potássio (mg dm ⁻³)	0,61	- 0,26	1	-
Altitude (m)	- 0,87	0,65	-0,70	1

Anexo 3 – Correlação entre atributos de solo, Lagoa (2006)

Correlação entre atributos de solo				
	Argila %	Fósforo (mg dm ⁻³)	Potássio (mg dm ⁻³)	Altitude (m)
Argila (%)	1	-	-	-
Fósforo (mg dm ⁻³)	- 0,65	1	-	-
potássio (mg dm ⁻³)	- 0,03	0,18	1	-
Altitude (m)	- 0,87	0,64	- 0,01	1

Anexo 4 – Correlação entre atributos de solo, Schmidt (2003)

Correlação entre atributos de solo				
	Argila %	Fósforo (mg dm ⁻³)	Potássio (mg dm ⁻³)	Altitude (m)
Argila (%)	1	-	-	-
Fósforo (mg dm ⁻³)	-0,20	1	-	-
Potássio (mg dm ⁻³)	0,35	0,19	1	-
Altitude (m)	- 0,74	0,19	- 0,36	1

Anexo 5 – Correlação entre atributos de solo, Lagoa (2005)

	Argila %	Matéria Orgânica (%)	Altitude (m)
Argila (%)	1	-	-
Matéria orgânica (%)	0,20	1	-
Altitude (m)	-0,87	-0,2	1

4 CAPÍTULO 2: AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS FERTILIZANTES APLICADOS A TAXA VARIADA SOBRE O RENDIMENTO DAS CULTURAS

4.1 Introdução

Visando a um aproveitamento melhor dos recursos agrícolas, muitos trabalhos sobre manejo localizado de culturas estão sendo desenvolvidos, especialmente em relação à aplicação localizada de nutrientes no solo. De acordo com Malzer (1996), os métodos da AP podem ser utilizados com qualquer variável agrícola, apesar de sua origem ser o manejo de nutrientes e fertilidade do solo. Como afirmam Tweeten (1996) e Balastreire (1997), o impacto ambiental causado pela distribuição excessiva de fertilizantes é uma das razões para esses estudos, em virtude de problemas de lixiviação dos nutrientes, atingindo o lençol freático, e de carreação pelas chuvas, poluindo rios, córregos e lagos. Outra razão é o prejuízo econômico causado pela aplicação de fertilizante em excesso em alguns pontos e insuficiente em outros, diminuindo a produção, devido ao método convencional utilizado no cálculo de adubação, em que se realiza apenas uma amostragem representativa para a análise química de uma área, obtendo-se um valor médio de aplicação.

Com as novas tecnologias em AP, a aplicação de fertilizantes pode ser feita de forma contínua, com doses variáveis, aplicando-se as quantidades conforme a necessidade de cada ponto no campo. Essa mudança nos métodos de aplicação tem feito com que a amostragem do solo passe, de uma média de todo campo, para uma análise da variabilidade espacial por todo campo (KUHAR, 1997). Pode-se realizar essa operação através da amostragem sistemática em células, também chamada de grid, ou pelo levantamento de solos. Assim, ao contrário de amostras casualizadas, tem-se uma constância amostral na área e consideram-se características estruturais e aleatórias de uma variável espacialmente distribuída (REICHARDT et al... 1986).

Um grande componente tecnológico, que contribuiu muito para AP, começou a surgir em 1989, quando o Sistema de Posicionamento Global (GPS) se tornou disponível de forma limitada e foi testado como meio de localizar equipamentos agrícolas no campo (COLVIN et al, 1996). O GPS pode ser apontado como a principal tecnologia responsável pela viabilização técnica da AP, possibilitando a determinação precisa e acurada da posição geográfica de

pontos nos sítios de produção, com rapidez e segurança. É um sistema de navegação orientado por satélites e foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD). Tal sistema teve como propósito, em sua concepção na década de 70, o uso exclusivamente militar. O primeiro satélite do sistema foi lançado em 1978 e considerado em capacidade operacional total em 1995 (LEICK, 2004), com uma constelação composta de 24 satélites, o que possibilitou uma cobertura total do globo terrestre. Os satélites estão distribuídos em seis órbitas de 55° de inclinação em relação ao plano do Equador. Essa disposição permite que, em qualquer lugar no globo terrestre, estejam disponíveis no mínimo 4 satélites. Atualmente a constelação é de 27 satélites, com alguns funcionando de reserva (MOLIN, 2001). A altura da órbita dos satélites é de 20.200 km em relação à superfície terrestre, cada um com um ciclo orbital de 12 horas.

O erro por disponibilidade seletiva S/A (Selective Availability) era a principal fonte de erro de posicionamento que, somado a outros erros de sinal, dava aos receptores acurácia de aproximadamente 60 a 100 metros. Apesar de o DoD ter eliminado a S/A em maio de 2000, os receptores possuem atualmente acurácias de 5 a 15 metros no modo C/A. Esse nível de precisão possibilitou um incremento no uso do sistema, principalmente na AP, a exemplo de sua utilização no georreferenciamento de grades de amostragens. Porém, para algumas práticas de manejo tal precisão não é a ideal. Para se resolver esse problema, passou-se a utilizar um método que melhorasse a acurácia dos aparelhos, denominado de correção diferencial, iniciado em 1989 com o conceito de WADGPS (Wide Area Differential GPS). Baseados nesse conceito, vários sistemas foram implementados ao redor do globo. A FAA (Federal Aviation Administration) desenvolveu um sistema chamado de WAAS (Wide Area Augmentation System) para a aviação civil, que auxilia as aeronaves nas aproximações (LEICK, 2004). O sistema utiliza satélite geostacionário sobre a linha do Equador, recebendo correções do sinal GPS de estações de monitoramento em terra, distribuídas no território dos Estados Unidos. Elas possuem coordenadas conhecidas e registram a diferença das coordenadas fornecidas pelo rastreo GPS. Essa diferença é enviada ao satélite geostacionário e retransmitida ao receptor do usuário, que corrige seu posicionamento, aumentando a acurácia. O sinal WAAS é transmitido na mesma frequência do sinal GPS na banda L1 (1.575,42 MHz) (MOLIN, 2001).

O setor industrial agrícola, em contato com essa tecnologia, passou a desenvolver máquinas e implementos específicos que atendessem a um mercado que exigia controles mais apurados das práticas agrícolas. A inclusão do GPS e do DGPS às máquinas e sensores, possibilitou a elaboração de mapas de produtividade em tempo real, assim como mapas de

alguns atributos do solo e planta. Viabilizou também a utilização de implementos de aplicação a doses variadas de fertilizantes e pulverizações em quantidades mais racionais, de acordo com a demanda específica de um sítio. O alvo das indústrias no Brasil, principalmente, está focado para o sistema produtivo de grãos, tanto em tratores e colhedoras com diversos sensores, como implementos para semear, adubar e pulverizar. Para o setor de culturas perenes, em especial as culturas lenhosas, praticamente não se encontram equipamentos adaptados para AP no Brasil.

O trabalho desenvolvido por Searcy (1989) utiliza, como exemplo das vantagens da aplicação localizada, o uso de nitrogênio na cultura de algodão no Texas. Utilizando valores típicos para a região e assumindo que o campo tem 10% da área com excesso e 20% com falta de nitrogênio, a perda pela adubação incorreta seria de US\$ 338 para uma área de 100 acres. Mesmo que a utilização da aplicação localizada provocasse um acréscimo de custo de 50%, o lucro líquido ainda seria da ordem de US\$ 1,88/acre-1. Além desse retorno, deve-se salientar que uma aplicação otimizada do nitrogênio poderia reduzir a possibilidade de poluição da água subterrânea.

O adequado emprego dessa tecnologia deve-se basear em análises econômicas que mostram seus benefícios, como o aumento da produtividade e a redução dos custos de produção. Paralelamente, tais informações permitem a racionalização de utilização de insumos agrícolas, minimizando os impactos ambientais da atividade. Balastreire (2000) discute a possibilidade de redução da poluição ambiental por meio da agricultura de precisão, já que menores quantidades de insumos são aplicadas localizadamente. De acordo com o autor, embora se acredite que exista um potencial dessa tecnologia para reduzir o impacto ambiental das atividades agrícolas, não existem, ainda, dados suficientes para serem quantificados os benefícios advindos do uso dessa tecnologia.

A utilização das ferramentas de AP em área pertencente ao Projeto Aquarius, de acordo com Amado (2006), permitiu que houvesse uma racionalização no uso dos fertilizantes, com redução na ordem de 53% na quantidade aplicada em relação àquela que o produtor, Sérgio Limberger, tradicionalmente aplicava a taxa fixa. Com a melhor alocação dos insumos, tornou-se possível corrigir as subáreas que se encontravam com teores deficientes e economizar fertilizante nas subáreas com teores muito altos de nutrientes. A racionalização do uso de fertilizantes, nesse caso, proporcionou uma economia de R\$ 7.979,00 em fertilizantes. Já os custos operacionais, envolvendo amostragem de solo (1 ponto ha), análise de laboratório, geração de mapas e a aplicação a taxa variável de fósforo e potássio (serviço terceirizado com preços médios praticados na região), foram mais elevados

na AP, resultando em um aumento de R\$ 2.442,00. Os custos operacionais na agricultura convencional, para fins deste trabalho, foram estimados em R\$ 60,00 ha, incluindo somente 1 análise de solo por lavoura, acrescida dos custos de semeadura. O resultado final da AP para essa propriedade, incluindo custos operacionais e de fertilizantes representou economia de R\$ 5.537,00.

Destaca-se, no entanto, que a economia foi possível devido ao histórico de boas adubações realizadas em anos anteriores, criando uma poupança no solo. Em outra área do Projeto Aquarius, a diferença entre o custo do fertilizante a taxa fixa no sistema convencional, com o da taxa variável na AP, ficou na ordem de 25% menor, representando uma economia de R\$ 2.400,00. Por outro lado, o custo operacional da AP foi R\$ 2.835,00 a mais do que o da agricultura convencional. O resultado final foi ligeiramente superior (R\$ 435,00) na AP em relação ao sistema convencional. Destaca-se, porém, que os custos operacionais da AP estão superestimados, em função da grade de amostragem de solo utilizada (1 ponto ha), que é superior à comercialmente utilizada. Ainda, o plano de adubação proposto contempla a correção das áreas com baixa fertilidade, fato que poderá resultar em maiores rendimentos, transformando esse resultado negativo em lucro para o produtor.

Nos Estados Unidos, Bongiovanni e DeBoer (1998) realizaram um estudo para avaliar a rentabilidade da aplicação a doses variáveis de calcário em culturas de soja e milho. Os autores consideraram duas estratégias de aplicação. A primeira usava a recomendação agrônômica e a segunda, regras econômicas. Os resultados da pesquisa evidenciaram que houve um aumento de produção nessas culturas e que, na primeira estratégia, ocorreu um aumento de retorno anual médio de US\$2,93.acre-1 e na segunda, um aumento de US\$7,91.acre-1.

Balastreire (1994) sugeriu que o conceito fosse designado como Aplicação Localizada de Insumos (ALI), uma vez que os diversos insumos deveriam ser aplicados de forma localizada, em função dos requisitos da cultura a ser implantada, e das características de fertilidade de parcelas, cujas dimensões deveriam se situar ao redor de 5x5 m. Afirma que o conceito de gerenciamento localizado de culturas pode ser estendido para o monitoramento de outras operações que não necessariamente aquelas de aplicações localizadas de insumos, como, por exemplo, o monitoramento de operações de semeadura, de colheita ou de outras operações mecanizadas. A proposta da agricultura de precisão é permitir que se faça aquilo que o pequeno agricultor sempre fez, porém em larga escala e associando todo o conhecimento acumulado pelas ciências agrárias até hoje (MOLIN, 2002).

4.2 Material e Métodos

O estudo se realizou em duas áreas agrícolas comerciais pertencentes ao Projeto Aquarius, localizadas no município de Não-Me-Toque (RS), distantes 250 km de Santa Maria, ambas representativas da principal região produtora de grãos do RS. O município está localizado na Região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, na microrregião do Alto Jacuí, com uma área territorial de 365,5 km². Pelo sistema internacional de classificação climática de Köppen, o município se enquadra na zona fundamental temperada (C), tipo fundamental úmido (Cf), com variedade específica subtropical (Cfa). A variedade subtropical úmido apresenta chuva bem distribuída durante o ano (nenhum mês com menos de 60 mm) e temperatura média do mês mais quente superior a 22,0 °C (CUNHA, 2007). A região situa-se na zona da escarpa arenito-basáltica do Planalto Meridional Brasileiro, com solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, textura muito argilosa (>60%), com profundidade média de 1,5 metros (EMBRAPA, 1999). Através do projeto de lei 98/2007, da Assembléia Legislativa do estado do Rio Grande do Sul, o município foi declarado “Capital da AP”.

A distribuição dos fertilizantes, em doses variáveis, foi realizada utilizando-se o distribuidor de fertilizantes a lanço, marca Amazone, modelo Trampo 3000, com capacidade de tanque de 3,000 litros. O distribuidor é equipado com mecanismo dosador gravimétrico de abertura variável, que possibilita aplicação a taxa variada, e com um dispositivo agitador que evita a formação de galerias no interior do equipamento. O mecanismo distribuidor é composto por dois discos horizontais, ambos com duas aletas que possibilitam regulagens quanto à largura de aplicação conforme a granulometria do fertilizante. Para a distribuição a taxa variada, utilizou-se o sistema FieldStar® (AGCO) que equipa o trator com um monitor de visualização dos mapas de aplicação, bem como dos ajustes das configurações necessárias para a execução da taxa variada (velocidade, largura de aplicação, doses, etc). O sistema possui, na sua eletrônica embarcada, componentes que executam a variação das doses ao longo da aplicação sem a necessidade de o operador acessar o monitor, visto que o mapa de prescrição é introduzido no sistema através de um cartão de dados contendo todas as informações a respeito da aplicação.

Para o direcionamento correto das aplicações é utilizado um sistema de barra de luzes AgGPS 150 GuideTM, o que permite a orientação através de LEDs e tela gráfica LCD, com nítida visualização. Dentre os acessórios do equipamento incluem-se um receptor GPS Trimble, barra de luzes plus, base imantada, ventosa para fixação, controlador remoto, cabo

para conexão e o manual de operação. O operador pode orientar-se nas aplicações em retas, curvas ou pivô, tanto pelos LED quanto pela tela, tendo, assim, maior facilidade operacional, principalmente em curvas, o que lhe garante uma máxima performance. Também ao final das operações é fornecido um arquivo de rastreabilidade, onde constam todas as informações referentes à aplicação (velocidade, quantidade de produto aplicado, tempo...etc)

As aplicações no talhão Lagoa iniciaram-se na safra agrícola 2004/05 com a distribuição da formulação NPK 00-12-28 a taxa variada, anteriormente à semeadura da cultura do milho. Para a cultura do trigo, no ano de 2005, foram utilizadas duas operações a taxa variada, sendo a primeira com aplicação de super fosfato triplo 46% P₂O₅, próximo do plantio do trigo e a segunda, do cloreto de potássio 60% K₂O. Na safra agrícola 2005/06 foi utilizada matéria prima composta por SFT 46% de P₂O₅ e KCl 60% de K₂O a taxa variada, em duas aplicações antes da semeadura. Já, na safra agrícola 2006/07, foi utilizada a formulação NPK (00-14-20) a taxa variada anteriormente à semeadura da cultura da soja. No último ano avaliado, utilizou-se a cultura do milho com 200 kg/ha a taxa fixa na linha de semeadura, com a formulação NPK (08-28-18) e o restante sendo complementado a taxa variada.

Tabela 1 – Critérios de adubação a taxa variada nas culturas de grãos – talhão Lagoa 132 ha.

Lagoa – 132 ha					
Ano	2004/05	2005	2005/06	2006/07	2007/08
Cultura	milho	trigo	soja	soja	milho
Fertilizante	00-12-28	*SFT + KCL	SFT + KCL	00-14-20	08-28-18
Critério	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Schmidt – 125 ha					
Ano	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	
Cultura	soja	soja	soja	milho	
Fertilizante	00-12-28	SFT + KCL	00-14-20	08-28-18	
Critério	(2)	(2)	(4)	(5)	

(1) Correção parcial de fósforo abaixo de 12 mg dm⁻³ mais exportação da cultura considerando os teores no solo (formulação não ajustada para cultura do milho)

(2) Correção parcial de fósforo abaixo de 20 mg dm⁻³ mais exportação da cultura do trigo, exceto onde os teores no solo apresentassem valores muito altos. Para o potássio, manter valores acima de 180 mg dm⁻³

(3) Correção parcial de fósforo abaixo de 20 mg dm⁻³ mais exportação da cultura da soja, exceto onde os teores apresentassem valores muito altos. Para o potássio, manter valores acima de 180 mg dm⁻³

(4) Exportação da cultura da soja mais correção onde os teores no solo apresentassem valores abaixo de 20 mg dm⁻³.

(5) Exportação da cultura do milho.

*Super Fosfato triplo 46% de P₂O₅ e Cloreto de Potássio 60% de K₂O

4.3 Resultados

A variabilidade dos atributos de solo existente num talhão leva a crer que é possível estabelecer o manejo localizado dos fertilizantes a taxa variada. Entretanto, é de suma importância que, quando definidos os critérios de recomendação dos fertilizantes, seja possível estabelecer quais as prioridades de intervenções, pois, à medida que os nutrientes do solo apresentam variação significativa, é necessário intervir, com o objetivo de potencializar as zonas deficientes e racionalizar melhor o fertilizante onde houver zonas com alto teor dele no solo, e que a possibilidade de resposta a um determinado produto seja tecnicamente viável. Segundo Ferguson et al (1999), a estratégia de definição de zonas de manejo para tratamento a taxa variável (VRT) tem incluído alguns aspectos de tipo de solo combinados com outras medidas de produtividade, tais como declividade ou níveis de fertilidade. O número de variáveis envolvidas na elaboração do mapa de prescrição depende do grau de detalhamento de cada variável, pois, em muitos casos, o método de amostragem de solo, principalmente, não consegue atender a variabilidade do terreno, e em outros, os atributos de solo não se correlacionam positivamente a ponto de intervir com taxa variada.

Nesse caso, observando a figura 1, nota-se que há variação significativa das doses de aplicação, pois o critério utilizado foi o teor de fósforo no solo, que apresentava variação significativa. O critério utilizado na prescrição do mapa sugeria que, onde os valores estivessem abaixo de 12 mg dm^{-3} , seria aplicado um valor correspondente à manutenção da cultura e correção de solo e onde os valores estivessem acima disso, seria aplicada uma taxa correspondente à metade da exportação requerida pela cultura do milho. Em 39,7% da área, foram utilizados 270 kg ha^{-1} da formulação, o que atenderia, somente, a menos da metade da necessidade exportada de fósforo da cultura do milho para um rendimento esperado de 6,0 toneladas. Observa-se, também, que a formulação utilizada não estava ajustada às necessidades da cultura, porém os produtos, por questões econômicas, haviam sido adquiridos em função do bom no momento, R\$ 614,00 a tonelada.

Dessa forma, o ajuste da formulação para a cultura teve como consequência a aplicação desnecessária de potássio em zonas da lavoura onde o elemento estava elevado, pois não havia coincidência entre os valores baixos de fósforo e potássio. Vale ressaltar que o residual do potássio aplicado poderia ser utilizado em culturas posteriores, visto que o sistema implantado obedecia à rotação de cultura com milho-soja-trigo-soja e milho, novamente.

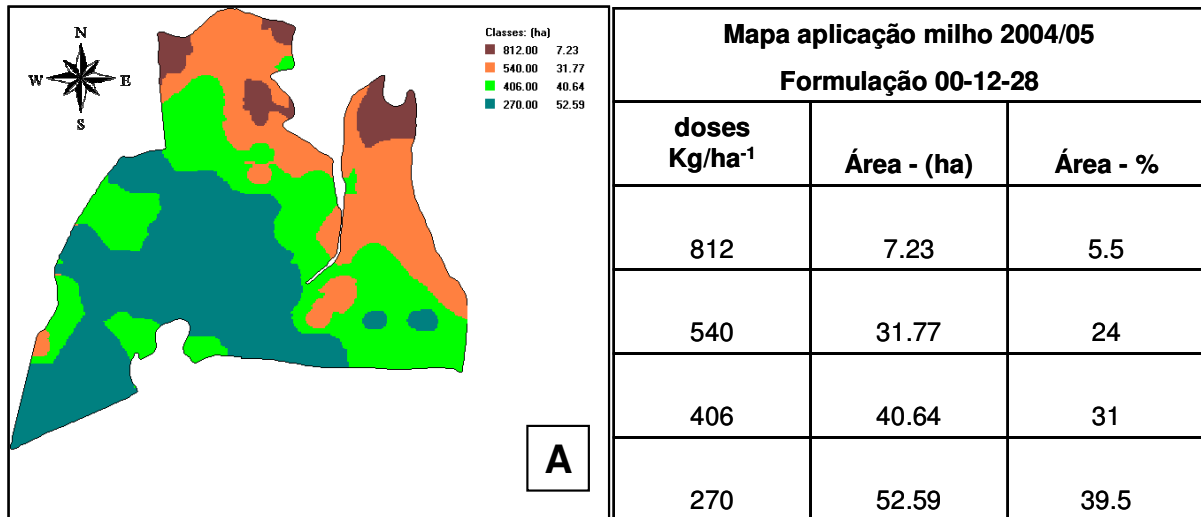


Figura 1 - Mapa de aplicação a taxa variada na safra agrícola 2004/05 para a cultura do milho, com a formulação NPK 00-12-28.

Os resultados apresentados na tabela 2 indicam que houve variação considerável do EUN, tendo valores desde - 40% em 39% da área até +73% em 5% da área para o fósforo. As quantidades exportadas de fósforo tiveram pouca variação. Nota-se que a produtividade obtida não dependeu das doses de aplicação utilizadas em ambos os nutrientes. Para o potássio, o EUN teve somente valores positivos, visto que a formulação continha alta concentração do produto, e a dependência da exportação desse nutriente para a cultura do milho é considerada baixa entre as culturas de grãos. Já para os valores médios, o fornecimento de fósforo ficou abaixo da exportação em média de -7,7%, e o potássio obteve valor médio de +190%. Entretanto, não houve resposta em produtividade à aplicação de altas doses de potássio no solo, visto que os teores médios já estavam muito altos. Essa constatação reforça a prerrogativa de que a utilização de formulações não ajustadas pode causar desequilíbrios no desenvolvimento das culturas. O consumo de potássio pela planta, além do necessário para o seu rendimento ótimo, ou consumo de luxo ou supérfluo é, sem dúvida, um desperdício de recursos, tornando a aplicação em excesso antieconômica e, algumas vezes, desnecessária, principalmente em solos argilosos.

Tabela 2 – Estratégia de manejo dos fertilizantes aplicados a taxa variada na cultura do milho e seu efeito sobre a produtividade, talhão Lagoa, 2004/05.

Fósforo (P2O5)					
Adubação	Dose aplicada	Área	Produtividade	*Q,E	**EUN
Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	ha	Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	%
*E – 22	33	51,5	6.869	55	- 40
E – 04	48	40	6.571	52	- 7,7
E + 18	65	33	5.916	47	+ 38
E + 41	97	7,0	7.012	56	+ 73
Média	48		6.540	52	- 7,7
Potássio (K2O)					
Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	ha	Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	%
E + 35	76	51,5	6.869	41	+ 85
E + 74	113	40	6.571	39	+ 189
E + 116	151	33	5.916	35	+ 331
E + 185	227	7,0	7.012	42	+ 440
Média	113		6.540	39	+ 190

*E(exportação de nutriente em função do rendimento médio obtido)

**QE (8 kg de P2O5 e 6 kg de K2O por tonelada de grão de milho)

***EUN=((Dose aplicada x 100)/QE-100) ; (Eficiência do Uso de Nutrientes, valores positivos referem-se à porcentagem de nutriente que não foi exportada, valores negativos referem-se à porcentagem de nutriente fornecida pelo solo)

Para a safra agrícola 2005, em que foi implantada a cultura do trigo, utilizou-se matéria-prima à base de SFT 46% de P2O5 e KCl 60% de K₂O, conforme a figura 2 A e B. Quanto ao fósforo, utilizou-se o SFT 46% de P2O5, sendo que em grande parte da área, 46%, não foi utilizado o fertilizante, e no restante foi utilizada dose de correção e manutenção da cultura, objetivando manter os níveis de fósforo no solo acima de 20 mg dm⁻³. Em relação ao potássio, em 25,5% da área não foi aplicado o fertilizante, justamente onde anteriormente havia sido feito um investimento muito alto no elemento, sendo possível, pois, utilizar o residual da adubação da safra anterior. Para o restante da área, foram utilizadas doses referentes à correção e manutenção da cultura, tendo como objetivo manter os teores no solo acima de 180 mg dm⁻³.

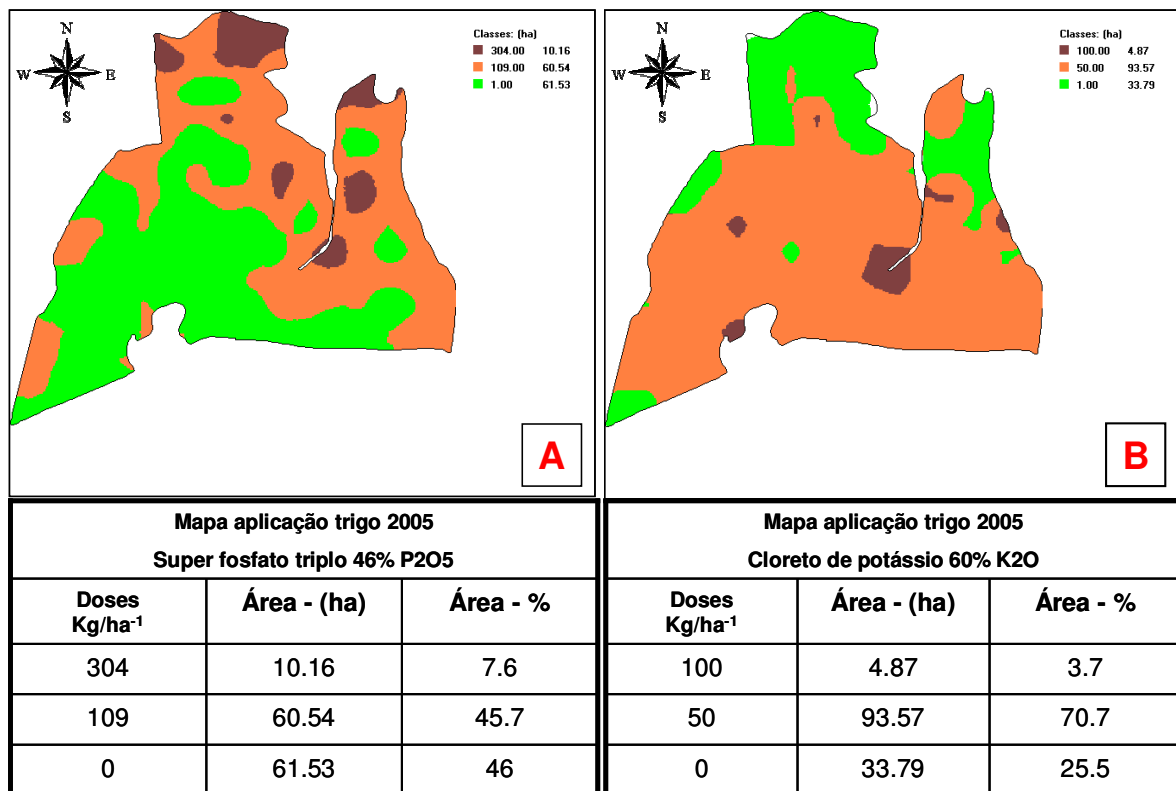


Figura 2 - A e B, Mapa de aplicação a taxa variada na safra agrícola 2005 - trigo, com SFT 46% de P₂O₅ e KCl 60% de K₂O.

Os resultados da tabela 3 indicam que a distribuição do EUN foi muito influenciada pelas doses de aplicação, tanto para o fósforo, quanto para o potássio. Para o fósforo, ocorreram valores desde -100% em 45% da área, isto é, nesse montante não houve aplicação de fósforo, e o solo, devido aos altos teores desse nutriente conseguiu suprir a necessidade da cultura do trigo com apenas 2% a menos que o rendimento médio da cultura. Para o maior valor de EUN para o fósforo, +353%, houve ganhos na ordem de 7% em relação à média da lavoura. A média geral do EUN ficou em +20%, pois mesmo com a amplitude de variação, as necessidades quanto à exportação da cultura do trigo, foi possível atender, com saldo positivo, a exportação da cultura. Para o potássio, a amplitude do EUN foi ainda maior, tendo valores de EUN desde -100% em 26% da área, com produtividade de 6% acima da média geral, até valores de EUN de +300% em 4% da área, porém com produtividade média 4% acima da média geral. A média geral para o potássio do EUN ficou em +67%, mesmo com a amplitude de variação implantada. Novamente a amplitude do EUN esteve altamente relacionada à dose de fertilizante potássico aplicada em contrapartida ao rendimento obtido. A variação encontrada no EUN, para ambos os nutrientes, reforça a prerrogativa de que é possível racionalizar fertilizantes sem que haja a diminuição da produtividade. Esse processo de

racionalização pode ser melhor explorado em anos onde o custo do fertilizante estiver elevado; contudo, quando os níveis no solo estiverem, como nesse caso, muito acima dos valores considerados responsivos, pode-se abrir mão da ferramenta de aplicação a taxa variada para buscar a melhor eficiência no uso dos fertilizantes,

Tabela 3 - Estratégia de manejo dos fertilizantes aplicados a taxa variada na cultura do trigo e seu efeito sobre a produtividade, talhão Lagoa, 2005

Fósforo (P2O5)					
Adubação	Dose aplicada	Área	Produtividade	*Q,E	**EUN
Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	ha	Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	%
*E - 24	0	60	2.399	24	- 100
E + 18	43	61	2.477	25	+ 72
E + 92	118	10,2	2.616	26	+ 353
Média	30		2.448	25	+ 20
Potássio (K2O)					
Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	ha	Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	%
E - 16	0	34	2.592	16	- 100
E + 16	30	93	2.399	14	+ 114
E + 45	60	5	2.541	15	+ 300
Média	25		2.448	15	+ 67

*E(exportação de nutriente em função do rendimento médio obtido)

**QE (Quantidade de nutriente exportada: trigo, 10 kg/ton de fósforo e 6 kg/ton potássio)

***EUN=((Dose aplicada x 100)/QE-100) ; (Eficiência do Uso de Nutrientes, valores positivos referem-se à porcentagem de nutriente que não foi exportada, valores negativos referem-se à porcentagem de nutriente fornecida pelo solo)

Na safra agrícola 2005/2006, a estratégia de adubação baseou-se nos teores de fósforo e potássio no solo. Para isso, utilizou-se matéria prima com base no SFT 46% de P2O5 e KCl 60% de K₂O, conforme a figura 3. O objetivo, nesse cultivo, era alocar os fertilizantes seguindo os critérios de manutenção do teor no solo de 20 mg dm⁻³ de fósforo e 150 mg dm⁻³ de potássio no solo. Assim, podem-se observar diferenças significativas nas doses de aplicação de fósforo: 3% da área recebeu dose de correção de 326 kg ha⁻¹; 4% recebeu 163 kg ha⁻¹; 46% recebeu 108 kg ha⁻¹ para manter os teores no solo na faixa de fertilidade requerida; 47% recebeu a dose de 65 kg ha⁻¹ de SFT 46% de P2O5. Já para o potássio, optou-

se por racionalizar ainda mais as quantidades, com 3% da área com taxa de 150 kg ha⁻¹ justamente em pontos onde houve influência de antigas erosões no solo; 64% com taxa de 75 kg ha⁻¹, onde os teores no solo estavam próximos ao desejado; e 33% da área com taxa de 50 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio 60%, onde os teores no solo apresentavam valores muito acima dos ajustados para a área. Nota-se que, onde foram aplicadas as menores doses de KCl 60% de K₂O, o solo apresentava os maiores valores do nutriente. Isso porque, na safra anterior de verão (milho), foi utilizada grande quantidade do nutriente via formulação, tendo sido reciclada, pela cultura do milho, grande parte desse nutriente, que será utilizado pela cultura da soja neste ano.

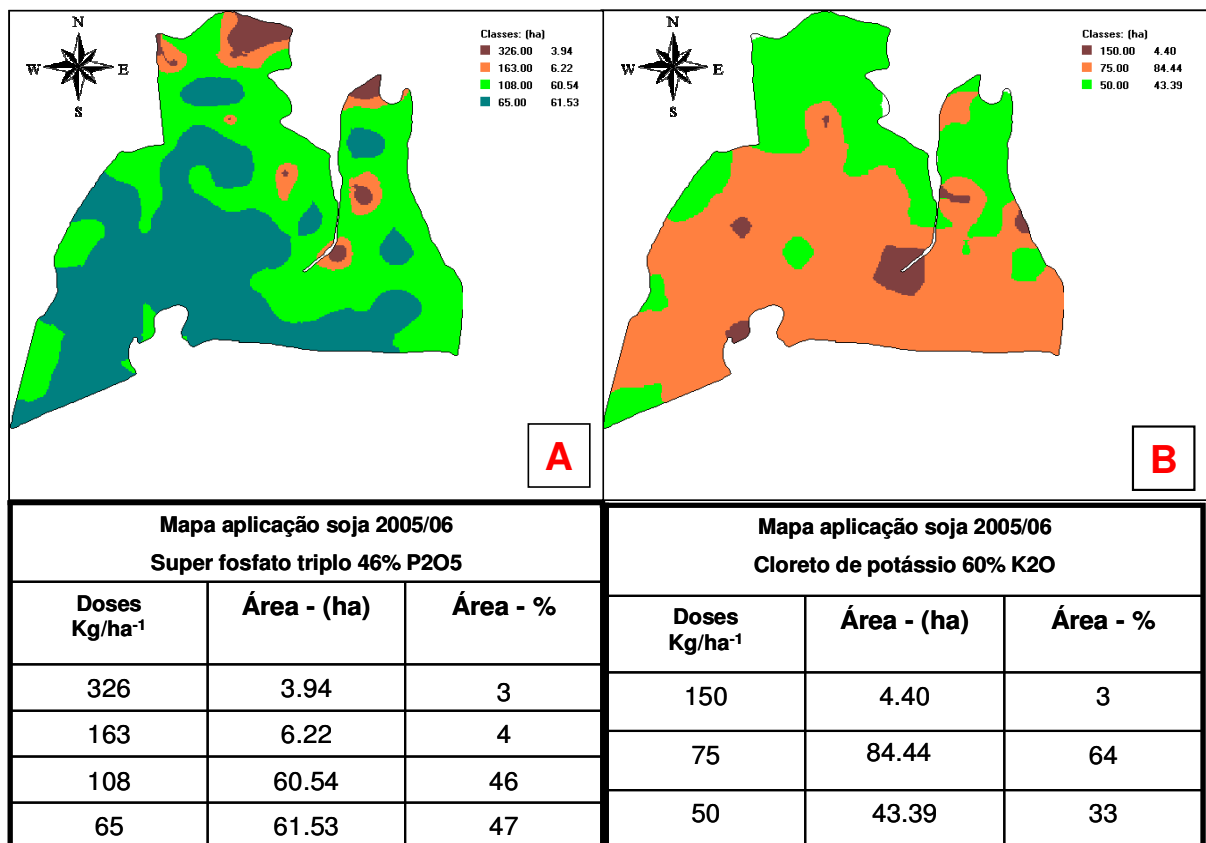


Figura 3 - A e B, Mapa de aplicação a taxa variada na safra agrícola 2005/06 soja, com SFT 46% de P₂O₅ e KCl 60% de K₂O.

Nesse ano, a produção de soja na média do talhão Lagoa atingiu o seu melhor desempenho histórico, 3,396 kg ha⁻¹ de soja. Avaliando os resultados de produtividade apresentados na tabela 4, pode-se observar que a variação do EUN para o fósforo apresentou valores desde -39% em 46% da área, com produtividade 4% acima da média geral, até +146% em 3% da área, com produtividade 28% acima da média geral. Assim, é possível inferir que o

fornecimento de nutriente fosfatado, via adubação para a cultura, foi 10% em média abaixo da exportação e a produtividade obtida dependeu muito mais das reservas de fósforo existente no solo do que propriamente da adubação mineral. Quanto ao potássio, o comportamento do EUN mostrou-se ainda mais eficiente, pois em 33% da área a dependência do fornecimento de potássio pelo solo E-33 chegou a -39% e, em 64% da área, o fornecimento de potássio pelo solo atingiu EUN -36%, com ganhos de rendimento na ordem de 3%. Esse comportamento levou a atingir, para o potássio, valor médio de EUN de -38%, mesmo com a alta produtividade obtida no talhão. Isso reforça o conceito proposto por Nicolodi (2007) de que nem sempre indicadores químicos detectam a mudança na capacidade produtiva do solo, promovida pelos diferentes sistemas de cultivo e rotações de culturas. Portanto, com o cultivo intenso de plantas de cobertura, com a rotação de diferentes espécies de produção de grãos no verão, a ciclagem de nutrientes permite racionalizar a utilização dos fertilizantes. Fiorin (1999) descreve alguns aspectos práticos que devem ser respeitados: o sistema deve funcionar cronologicamente, obedecendo a épocas de semeadura recomendadas, tanto para as culturas comerciais como para as de cobertura, permitindo, desse modo, a máxima expressão do potencial das espécies nos aspectos de produção de grãos, cobertura, ciclagem de nutrientes e fitomassa.

Tabela 4 – Estratégia de manejo dos fertilizantes aplicados a taxa variada na cultura da soja e seu efeito sobre a produtividade, talhão Lagoa, 2005/06.

Fósforo (P₂O₅)					
Adubação	Dose aplicada	Área	Produtividade	*Q,E	**EUN
Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	ha	Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	%
*E – 19	30	61	3.528	49	- 39
E + 4	50	61	3.325	46	+ 9
E + 32	75	6	3.071	43	+ 74
E + 89	150	4	4.361	61	+ 146
Média	43		3.396	48	- 10
Potássio (K₂O)					
Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	ha	Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	%
E - 33	30	44	3.158	63	- 52
E – 25	45	84	3.501	70	- 36
E + 25	90	4	3.242	65	+ 38
Média	42		3.396	68	- 38

*E(exportação de nutriente em função do rendimento médio obtido)

**QE (14 kg de P₂O₅ e 20 kg de K₂O por tonelada de grão de soja)

***EUN=((Dose aplicada x 100)/QE-100) ; (Eficiência do Uso de Nutrientes, valores positivos referem-se à porcentagem de nutriente que não foi exportada, valores negativos referem-se à porcentagem de nutriente fornecida pelo solo,)

Na safra agrícola de 2006/07, a estratégia de adubação considerou dados de fertilidade do solo e rendimento da cultura do ano anterior. Isso permitiu que fosse utilizada a formulação 00-14-20 ajustada para as necessidades da cultura da soja. Além disso, utilizou-se o critério de manter os teores médios no solo próximos de 20 mg dm⁻³ e, para o potássio, em torno de 180 mg dm⁻³. Assim, o cruzamento desses critérios permitiu que, em áreas onde os valores estivessem abaixo do estabelecido, seria usada uma dose mais alta visando à correção do solo; onde os valores estivessem acima do estabelecido, foi utilizado o critério da exportação da cultura, sendo diminuída progressivamente, conforme os níveis de fertilidade encontrados no solo. Pode-se observar, na figura 4, que em grande parte da área a quantidade utilizada ficou entre 311-398 kg ha⁻¹, representando 49% do total da área.

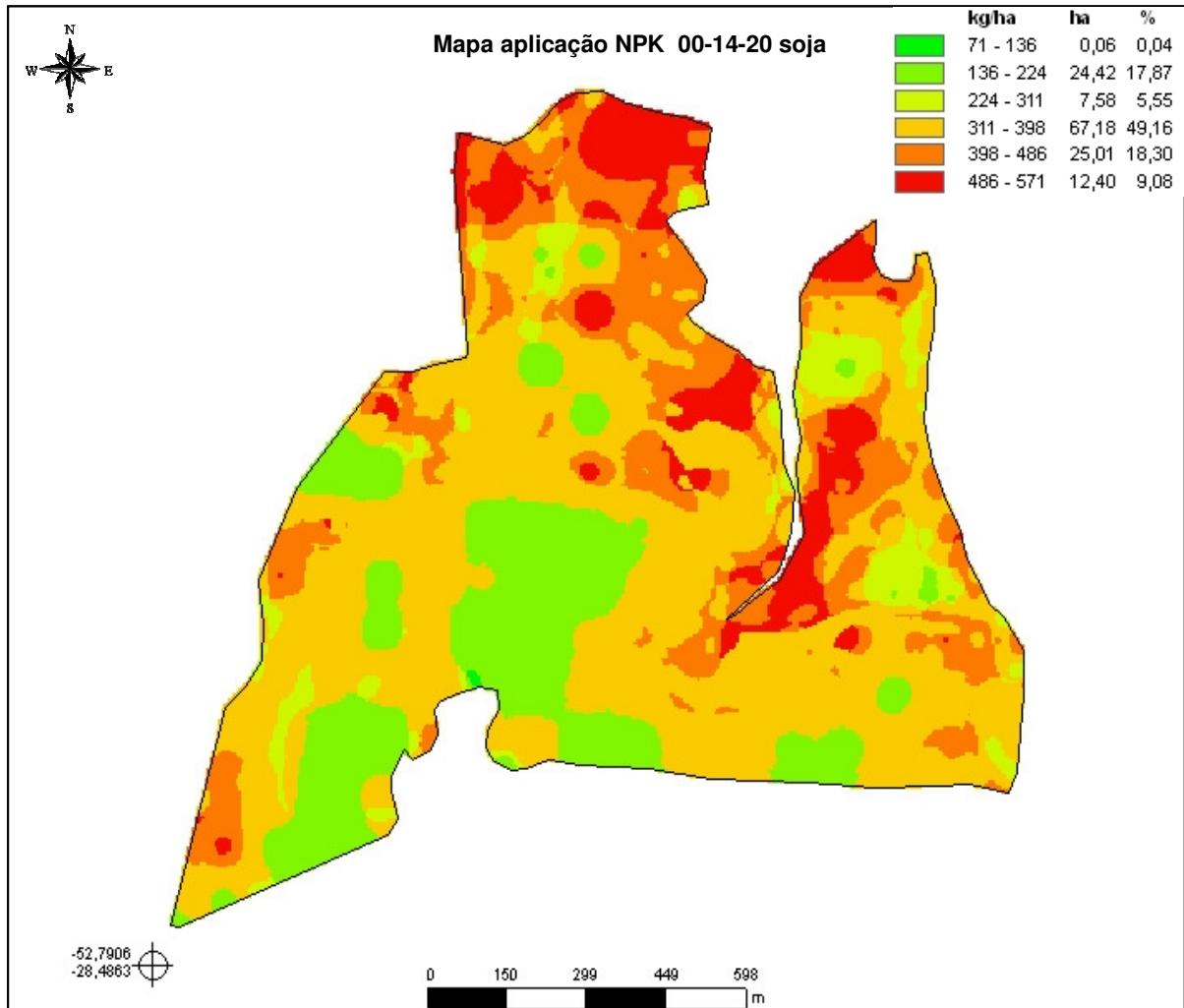


Figura 4 - Mapa de aplicação a taxa variada na safra agrícola 2006/07, com a formulação NPK 00-14-20

Os resultados apresentados na tabela 5 para o fósforo mostram que a variação das doses de aplicação influenciou diretamente na amplitude da EUN. Assim, para o fósforo o menor valor da EUN ficou em -45% e o maior, em +61%. Para o potássio, a amplitude apresentou valores semelhantes: -46% a +66%. Esse comportamento está ligado à formulação utilizada, 00-14-20, ajustada para fins de exportação da cultura da soja. Também vale destacar que investimento na ordem de +11% a 35% de fósforo e +12 a +35 de potássio, além da exportação média da cultura, não representaram ganhos significativos em produtividade. Nesse caso, o comportamento em torno da média de exportação parece ser influenciado consideravelmente pelos teores no solo e a ampliação dos horizontes de manejo da adubação poderia ser construída com valores abaixo da exportação média da cultura. Em geral a média da EUN para o fósforo ficou em +6,5% e para o potássio +9%. Num sistema que preconiza a rotação de culturas e a reciclagem de nutrientes, o ajuste da adubação pode ser feito acima ou

até mesmo abaixo da exportação média da cultura, sem que haja perdas de produtividade médias.

Tabela 5 – Estratégia de manejo dos fertilizantes aplicados a taxa variada na cultura da soja e seu efeito sobre a produtividade, talhão Lagoa, 2006/07.

Fósforo (P2O5)					
Adubação	Dose aplicada	Área	Produtividade	*Q,E	**EUN
Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	ha	Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	%
*E - 20	24	2	3.135	44	- 45
E - 15	31	21	3.277	46	- 33
E - 1	44	15	3.196	45	- 2
E + 5	51	66	3.272	46	+ 11
E +16	62	20	3.258	46	+ 35
E +28	74	8	3.185	46	+ 61
Média	49		3.259	46	+ 6,5
Potássio (K2O)					
Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	ha	Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	%
E - 29	34	2	3.135	63	- 46
E - 21	44	21	3.277	65	- 32
E - 1	63	15	3,196	64	- 1,6
E + 8	73	66	3.272	65	+ 12
E + 23	88	20	3.258	65	+ 35
E + 42	106	8	3.185	64	+ 66
Média	71		3.259	65	+ 9

*E(exportação de nutriente em função do rendimento médio obtido)

**QE (14 kg de P2O5 e 20 kg de K2O por tonelada de grão de soja)

***EUN=((Dose aplicada x 100)/QE-100) ; (Eficiência do Uso de Nutrientes, valores positivos referem-se à porcentagem de nutriente que não foi exportada, valores negativos referem-se à porcentagem de nutriente fornecida pelo solo.)

No período avaliado, os esforços do manejo da adubação estavam voltados, principalmente, para os atributos de solo, principalmente o fósforo e potássio. Nesse momento, a prioridade da fertilização a taxa variada voltou-se para o mapa de colheita, isto é, a prescrição do modelo de aplicação levou em consideração os mapas de colheita das culturas

anteriores, principalmente a soja, conforme a figura 5. Do ponto de vista de solo, haviam sido explorados, suficientemente, os atributos químicos com resultados satisfatórios. Então, a construção baseou-se na necessidade média de nutriente para a cultura do milho. A expectativa de rendimento médio para a safra foi estimada em 9,000 kg ha⁻¹ médios, isso levaria a requerer em torno de 75 kg ha⁻¹ de fósforo e 54 kg ha⁻¹ de potássio para atender a exportação da cultura do milho. As necessidades de extração da cultura ficariam a cargo do solo, visto que os níveis de fertilidade estavam altos e a possibilidade de que a cultura do milho respondesse a doses maiores de adubação, seria pequena. A formulação adquirida foi o 08-28-18, sendo que 200 kg ha⁻¹ foram aplicados na linha de semeadura e o restante foi distribuído a taxa variada a lanço.

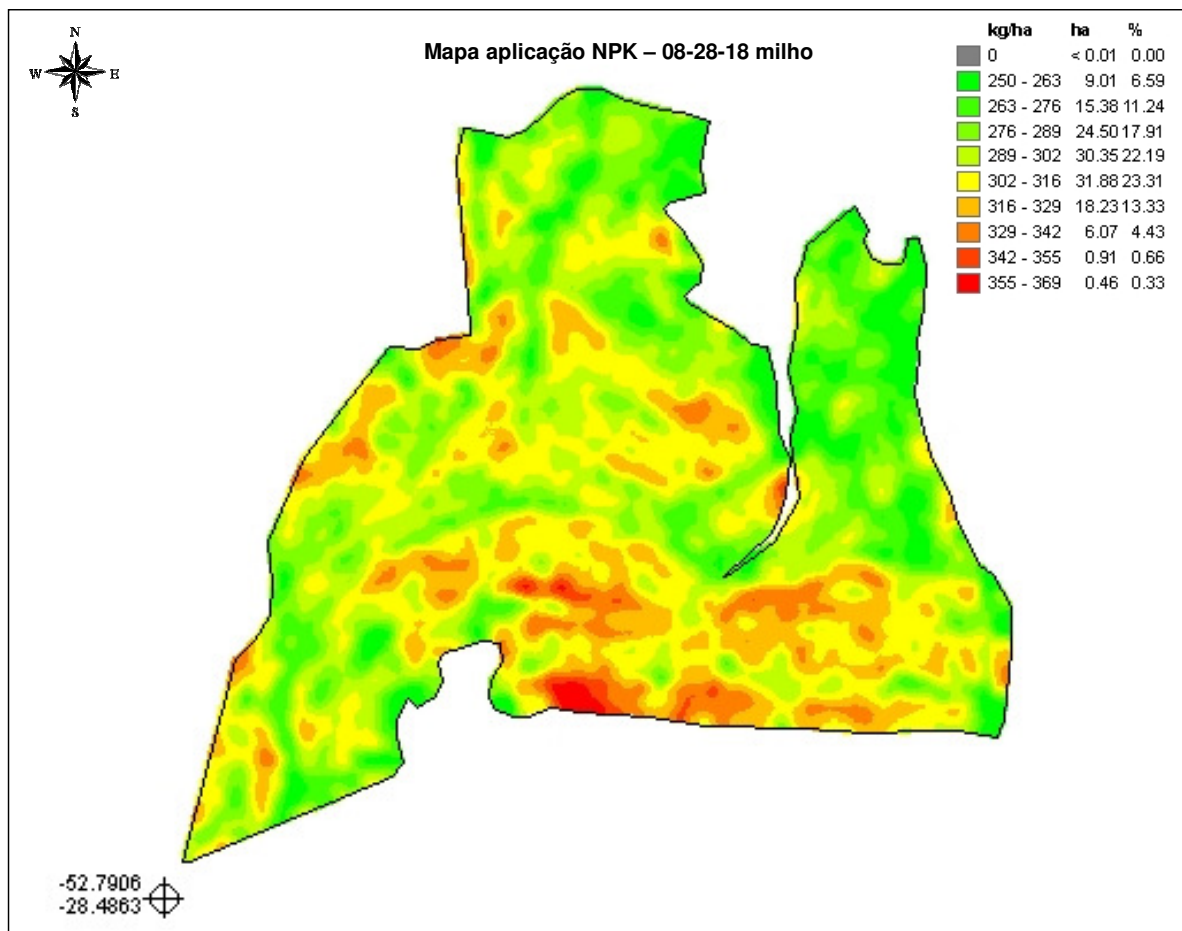


Figura 5 - Mapa de aplicação a taxa variada na safra agrícola 2007/08, com a formulação NPK 08-28-18

Na safra agrícola 2007/08, a cultura do milho foi implantada a fim de continuar o sistema de rotação que tinha como parâmetro a utilização de milho a cada duas culturas de

verão. Nesse ano a produtividade alcançou patamares históricos no talhão Lagoa, chegando a produzir em média 11,520 kg ha⁻¹. Do ponto de vista do manejo da adubação, nota-se na tabela 6 que, em ambos os nutrientes, fósforo e potássio, a EUN foi negativa, tendo para o fósforo valor médio de -10% e para o potássio -22%. Além disso, o comportamento da produtividade não mudou muito com a diferenciação das doses de aplicação, pois o critério de fornecimento de nutriente mineral obedeceu à média das produtividades das culturas anteriores. Isso permitiu que a alocação dos nutrientes priorizasse a busca de zonas de potencial produtivo dentro da área, isto é, onde havia maior exportação de nutriente foram colocadas as maiores doses, fazendo-se também o inverso. O fornecimento de potássio e fósforo abaixo da exportação também nesse caso não representou diminuição da produtividade, pois os teores no solo apresentavam valores muito acima do suficiente. Dessa maneira, pode-se sugerir que a adubação baseada na exportação da cultura pode ser feita nos casos em que os teores no solo estiverem muito altos, abaixo do valor médio da exportação da cultura. Para Nicolodi (2007), existe, em termos gerais, a tentativa de sempre associar incremento de rendimento com incremento no teor de nutriente ou diminuição do teor de elementos tóxicos. Isso nem sempre é possível, pois o SPD é muito complexo, principalmente em áreas onde os teores de nutrientes no solo estão altos.

Tabela 6 – Estratégia de manejo dos fertilizantes aplicados a taxa variada na cultura do milho e seu efeito sobre a produtividade, talhão Lagoa, 2007/08.

Fósforo (P2O5)					
Adubação	Dose aplicada	Área	Produtividade	*Q,E	**EUN
Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	ha	Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	%
*E - 9	73	6	10.253	82	- 11
E - 11	78	23	11.197	89	- 13
E - 11	83	48	11.743	94	- 12
E - 6	87	44	11.685	93	- 6
E - 1	92	11	11.584	93	- 1
Média	83		11.520	92	- 10
Potássio (K2O)					
Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	ha	Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	%
E - 15	47	6	10.253	62	- 24
E - 17	50	23	11.197	67	- 25
E - 17	53	48	11.743	70	- 24
E - 14	56	44	11.685	70	- 20
E - 10	59	11	11.584	69	- 15
Média	54		11.520	69	- 22

*E(exportação de nutriente em função do rendimento médio obtido)

**QE (8 kg de P2O5 e 6 kg de K2O por tonelada de grão de milho)

***EUN=((Dose aplicada x 100)/QE-100) ; (Eficiência do Uso de Nutrientes, valores positivos referem-se à porcentagem de nutriente que não foi exportada, valores negativos referem-se à porcentagem de nutriente fornecida pelo solo.)

Na avaliação geral do desempenho de 5 safras manejadas com a taxa variada, pode-se observar na tabela 7 que, para o fósforo, a amplitude da EUN variou de -31% a +78%. Nota-se que em geral a média para o fósforo da EUN ficou em -2%, porém os maiores valores de rendimento acumulado, 27%, situaram-se na região onde foram aplicadas as menores doses de fósforo acumuladas. Isso reforça a tendência de que quando os níveis de fósforo do solo estiverem muito altos, como nesse caso, a determinação do potencial produtivo deve ser alicerçada nos teores do solo, buscando levar em consideração os parâmetros de solo e de mapas de colheita acumulados. Para o potássio, os resultados mostram que o incremento das doses de aplicação ao longo dos anos não refletiu positivamente na quantidade acumulada de exportação das culturas. Nesse caso o valor da EUN ficou em +19%, isto é, o fornecimento de

potássio via adubação mineral foi superior à exportação acumulada pelas culturas. Vale ressaltar que os critérios de adubação, ao longo dos cultivos, foram diferenciados e, principalmente, no primeiro ano de cultivo, obteve-se um saldo considerável de potássio no solo devido à adição de quantidade muito superior à necessidade da cultura do milho. O ajuste dos valores de exportação das culturas podem ser revistos, pois em 8% da área houve valor da EUN -6%, sem que houvesse perdas significativas da exportação acumulada. Enfim, o manejo a taxa variada é uma ferramenta útil na alocação dos fertilizantes, mas para ser melhor explorado é preciso considerar o sistema de produção como um ambiente altamente reciclador de nutriente, e saber que o resultado das intervenções a taxa variada estão na dependência de fatores além da fertilidade do solo (infiltração de água, compactação, etc.). Isso reforça os resultados apresentados por Santi (2007), que, trabalhando com a infiltração de água no solo nessa mesma área de estudo – talhão Lagoa - afirma que as áreas com maior potencial produtivo foram as que apresentaram as maiores doses de infiltração, seguidas pelas áreas de média e baixa produtividade.

Tabela 7 – Dose de nutriente aplicada, área, quantidade de nutriente exportada e Eficiência do Uso de Nutrientes ao longo de 5 safras agrícolas, talhão Lagoa 2004 a 2008.

Fósforo (P2O5)			
*DA	Área	**Q,E	***EUN
Kg ha ⁻¹	ha	Kg ha ⁻¹	%
185	35	267	- 31
214	28	265	- 19
279	44	259	+ 8
314	13	258	+ 22
379	4	253	+ 50
457	8	257	+ 78
256	132	262	- 2
Potássio (K2O)			
Kg ha ⁻¹	ha	Kg ha ⁻¹	%
236	11	251	- 6
278	54	258	+ 8
321	46	256	+ 25
374	21	253	+ 48
304	132	256	+ 19

*DA (Dose de nutriente aplicada ao longo de 5 safras)

**QE (Quantidade de nutriente exportado pelas culturas ao longo de 5 safras)

***EUN= $((\text{Dose aplicada} \times 100)/\text{QE}-100)$; (Eficiência do Uso de Nutrientes, valores positivos referem-se à porcentagem de nutriente que não foi exportada, valores negativos referem-se à porcentagem de nutriente fornecida pelo solo,)

O manejo dos fertilizantes a taxa variada permite que haja uma alocação dos nutrientes conforme a necessidade de cada parte da lavoura. Para que isso seja possível, o mapa de prescrição deverá ser elaborado seguindo critérios agrônômicos, econômicos e operacionais, visto que a consequência esperada do manejo a taxa variada é a otimização da quantidade dos fertilizantes. Assim, é possível colocar o fertilizante no local correto, na quantidade certa, conforme as necessidades do solo e das culturas, minimizando riscos ambientais. Nesse sentido, a interação dos fatores químicos, físicos e biológicos do sistema de cultivo pode melhorar a eficiência dos fertilizantes, uma vez que, em sistemas de cultivo com plantio direto consolidado, as consequências do potencial produtivo estão ligadas às práticas de manejo

como um todo, potencializadas pela interação direta ou indireta dos indicadores de qualidade do solo.

Pode-se observar, assim, na figura 6, que a utilização da formulação 00-12-28 foi possível porque, naquele ano, a distribuição da variabilidade espacial dos atributos envolvidos, principalmente o fósforo, permitiu que o mapa de prescrição a taxa variada fosse dividido basicamente em 3 doses do fertilizante. Com isso, na maior parte da área, 64,1%, foram utilizados 270 kg ha⁻¹. Em 25,8% da área foi utilizada dose para correção e manutenção da cultura e, em apenas 10,4%, foi utilizada dose maior de correção mais manutenção da cultura da soja. Os critérios utilizados alicerçavam-se na condição de fertilidade dessa área, na sua maioria com altos teores no solo. Além disso, o produtor dispunha de recursos para investimento e havia adquirido um lote de fertilizante a um custo razoável para o momento, R\$ 614,00 a tonelada. Isso equivaleria a R\$ 0,614 por kg de formulação. Assim, o objetivo principal da adubação, nesse ano, foi elevar os teores de fósforo no solo para os valores médios de 20 mg dm⁻³. Onde os teores no solo estavam abaixo desse valor, foi utilizada dose de correção mais manutenção, e onde os teores de fósforo no solo encontravam-se acima deste valor, foram utilizadas doses correspondentes à exportação.

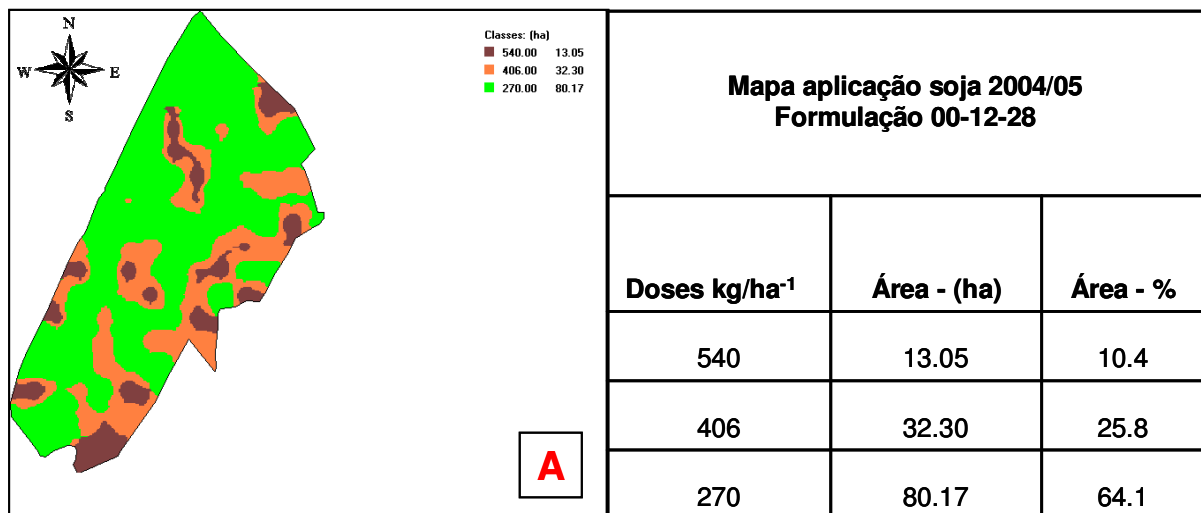


Figura 6 - Mapa de aplicação a taxa variada na safra agrícola 2004/05, com a formulação NPK 00-12-28

Com relação à quantidade de adubação aplicada a taxa variada na cultura da soja, pode-se observar na tabela 8 que os valores médios aplicados suprimam a exportação da cultura, tendo saldo positivo médio de 82% para as necessidades médias exportadas para o

fósforo e 200% para o potássio. Nesse caso a capacidade do solo em fornecer nutrientes, EUN, foi 100% positiva em ambos os nutrientes e também em todas as doses de aplicação. A utilização dessa formulação, nessa safra, obedeceu ao critério econômico, pois o produtor já havia adquirido o produto e, como consequência disso, o fornecimento de potássio ficou muito acima das necessidades requeridas, visto que os teores no solo estavam muito altos. Entretanto, como o sistema instalado na propriedade visava também ao aproveitamento em cultivos posteriores de parte da adubação aplicada nessa cultura, haveria a possibilidade de, no próximo cultivo, diminuir em muito a quantidade de potássio aplicada. Na safra agrícola 2004/05 houve uma estiagem severa durante o período reprodutivo da cultura, prejudicando intensamente a expectativa de produtividade e influenciando diretamente na exportação dos nutrientes. Os efeitos do déficit hídrico sobre o rendimento de interesse econômico de uma cultura vão depender da sua intensidade, duração, época de ocorrência e interação com outros fatores determinantes da expressão do rendimento final (CUNHA; BERGAMASCHI, 1992). Mesmo com adição de valores considerados altos, (E+43), isto é, exportação mais 43 kg ha⁻¹ de fósforo e (E+119) kg ha⁻¹ de potássio, não houve ganhos de rendimento de grãos em virtude de a estiagem ter sido muito severa.

Tabela 8 – Estratégia de manejo dos fertilizantes aplicados a taxa variada na cultura da soja e seu efeito sobre a produtividade, talhão Schmidt , 2004/05.

Fósforo (P2O5)					
Adubação	Dose aplicada	Área	Produtividade	*Q,E	**EUN
Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	ha	Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	%
*E + 10	32	80	1.595	22	+ 45
E + 26	47	32	1.533	21	+ 124
E + 43	64	13	1.487	21	+ 205
Média	40		1.560	22	+ 82
Potássio (K2O)					
Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	ha	Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	%
E + 43	75	80	1.595	32	+ 134
E + 79	110	32	1.533	31	+ 255
E + 119	149	13	1.487	30	+ 397
Média	93		1.560	31	+ 200

*E (exportação de nutriente em função do rendimento médio obtido)

**QE (14 kg de P2O5 e 20 kg de K2O por tonelada de grão de soja)

***EUN=((Dose aplicada x 100)/QE-100) ; (Eficiência do Uso de Nutrientes, valores positivos referem-se à porcentagem de nutriente que não foi exportada, valores negativos referem-se à porcentagem de nutriente fornecida pelo solo,)

Na safra agrícola de 2005/06, a estratégia de adubação utilizada foi de aplicar matéria prima com SFT 46% de P₂O₅ e KCl 60% de K₂O. Nesse ano, os critérios agrônômicos estabelecidos também se referiam ao teor de fósforo e potássio no solo, sendo que, para o primeiro, o objetivo era elevar e manter os teores no solo em torno de 20 mg dm⁻³, e, para o potássio, manter os teores no solo em torno de 180 mg dm⁻³. Nesse caso, a prioridade ainda se concentrava no fósforo, pois, conforme a figura 6^A, em 46% da área utilizou-se a dose de 220 kg ha⁻¹ de SFT 46% de P₂O₅. Incluíam-se nisso a correção de solo e a manutenção da cultura. Para o potássio, as doses concentraram-se, em grande parte, na quantidade de 50 kg ha⁻¹ de KCl 60% de K₂O, representando 80,7% da área e na dose de 85 kg ha⁻¹ somente em 19,3% da área. O critério de reduzir a quantidade de potássio aplicada via fertilização foi estabelecido, pois os teores de potássio estavam muito altos, em virtude do residual da safra anterior, optando-se por utilizar significativamente as reservas do solo.

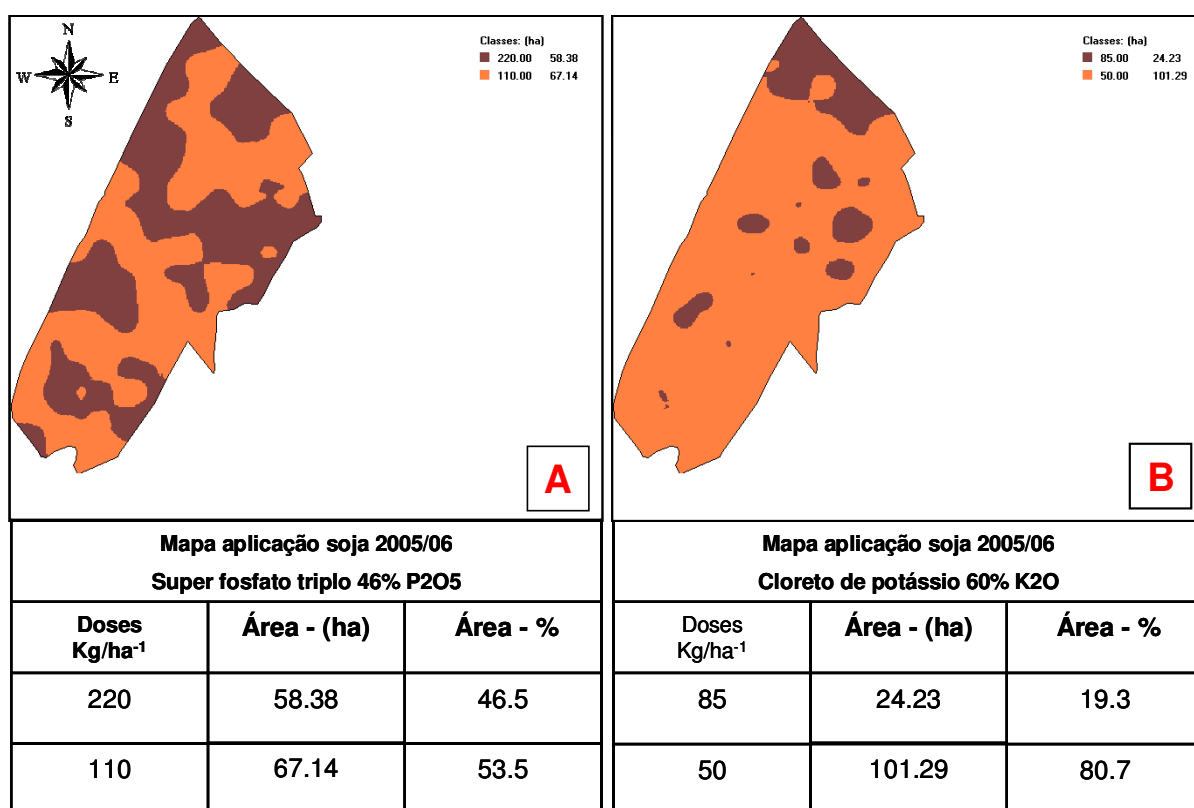


Figura 7 - A e B, Mapa de aplicação a taxa variada na safra agrícola 2005/06 - soja, com SFT 46% de P₂O₅ e KCl 60% de K₂O

Os dados da tabela 9 mostram que o rendimento médio ficou em 3.497 kg/ha⁻¹. Se comparada com a do ano anterior, a produtividade subiu 124%, ressaltando que a estiagem

havia prejudicado severamente a cultura da soja. Comparando-se a primeira dose de fósforo aplicada (E+1) com a segunda (E+26), nota-se que a quantidade de fósforo fornecida na primeira atendeu a exportação da cultura e o EUN teve valor positivo de +2% em 67 ha, em comparação com a segunda que atendeu toda a exportação da cultura, porém com EUN de +104% em 58 ha. Nesse caso, para o fósforo os valores acima da exportação da cultura não representaram ganhos de produtividade na média da dose aplicada. No caso do potássio, a diminuição da dose teve pequena influência no desempenho da produtividade, sendo que 81% da área teve o EUN de -57% e 19% da área teve o EUN de -24%. Isso permite afirmar que o solo tem alta capacidade de fornecer nutriente, e que o manejo adotado, com relação ao potássio, no sentido de utilizar a reserva da adubação da cultura anterior, foi positivo, gerando economia para o sistema de produção e reciclagem de nutriente. Isso concorda com dados de (BORKERT et al (1993), que apresentaram um nível crítico de 40 mg dm³ de potássio para a cultura da soja nos solos do Norte do Paraná, em um latossolo roxo distroférico e consideraram não ter havido resposta à aplicação de potássio no solo quando os níveis se apresentavam elevados. Pode-se observar, também, na tabela 9, que as quantidades de fósforo e potássio aplicadas foram bem distintas, tendo na média valores de EUN +49% para o fósforo e -53 para o potássio e, mesmo assim, gerando altos rendimentos. Isso mostra que a fertilidade do solo impõe um desafio, o de aprender a lidar com ela como uma propriedade sistêmica, ampliando os limites das práticas para além dos aspectos químicos, segundo Schlindwein... (2003).

Tabela 9 – Estratégia de manejo dos fertilizantes aplicados a taxa variada na cultura da soja e seu efeito sobre a produtividade, talhão Schmidt, 2005/06.

Fósforo (P2O5)					
Adubação	Dose aplicada	Área	Produtividade	*Q,E	**EUN
Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	ha	Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	%
*E + 1	50	67	3.516	49	+ 2
E + 26	100	58	3.481	49	+ 104
Média	73		3.497	49	+ 49
Potássio (K2O)					
Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	ha	Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	%
E - 40	30	101	3.523	70	- 57
E - 16	51	24	3.379	67	- 24
Média	33		3.497	70	- 53

*E (exportação de nutriente em função do rendimento médio obtido)

**QE (14 kg de P2O5 e 20 kg de K2O por tonelada de grão de soja)

***EUN=((Dose aplicada x 100)/QE-100) ; (Eficiência do Uso de Nutrientes, valores positivos referem-se à porcentagem de nutriente que não foi exportada, valores negativos referem-se à porcentagem de nutriente fornecida pelo solo,)

Após a realização de correção do solo nas safras anteriores, a estratégia adotada na safra agrícola de 2006/07 foi utilizar o mapa de colheita do ano anterior (soja), baseando-se na exportação da cultura da soja e também correlacionar os teores de fósforo no solo. Assim, a formulação utilizada foi o 00-14-20 na quantidade média de 321 kg ha⁻¹, variando desde 71 kg ha⁻¹ a 500 kg ha⁻¹. Nota-se, na figura 7, que grande parte das doses de aplicação ficaram entre 218 – 289 kg ha⁻¹ (37,51%) da área e 289 – 360 kg ha⁻¹ (37,49%), somando juntas 75% da área aplicada. As doses extremas são pouco significantes em termos de área aplicada, representando as doses mínimas apenas 3,43% e as doses máximas, apenas 1,32% da área total.

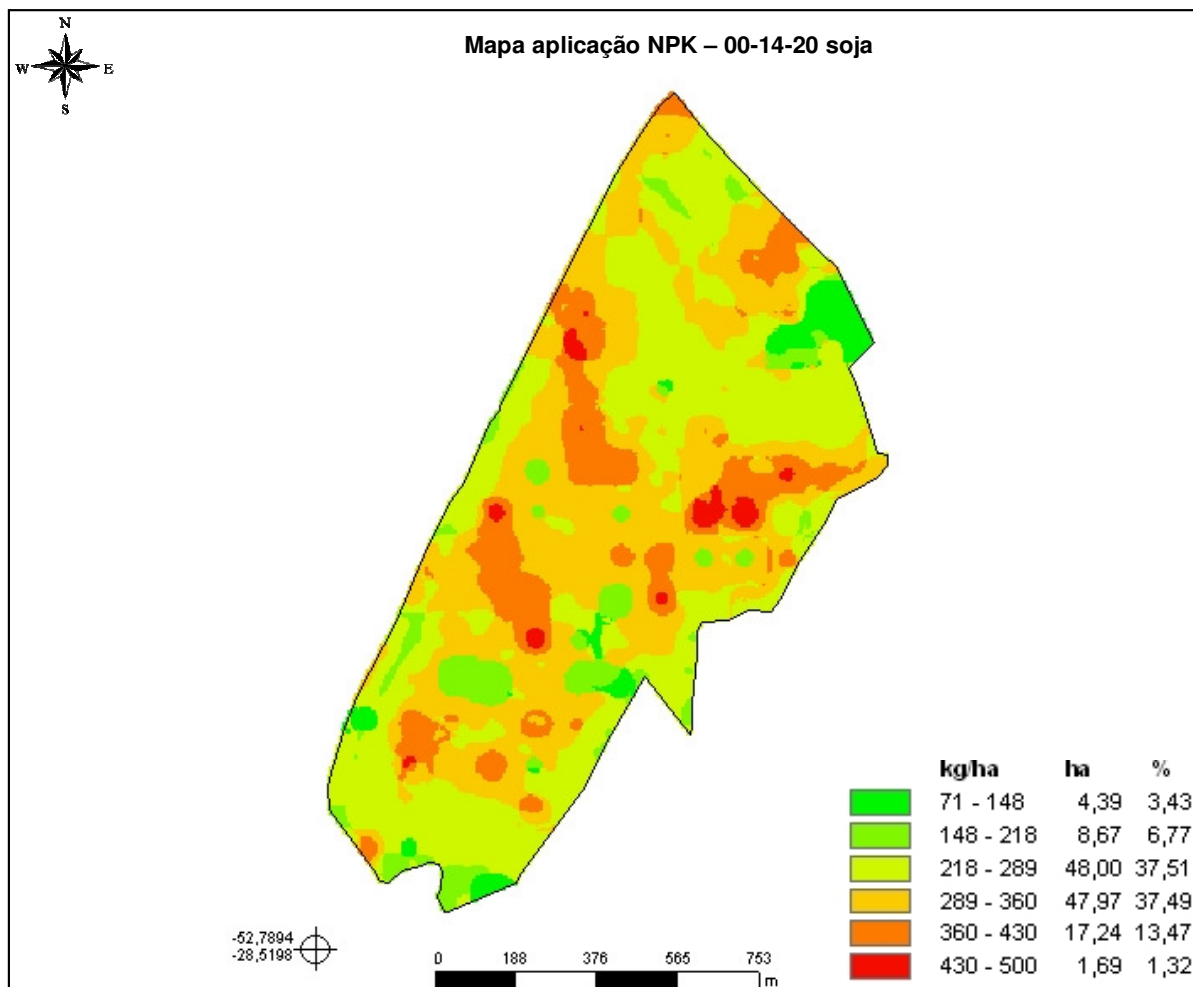


Figura 8 - Mapa de aplicação a taxa variada na safra agrícola 2006/07, com a formulação NPK 00-14-20

Os resultados apresentados na tabela 10 mostram que a produtividade teve um comportamento crescente em relação às doses aplicadas, tanto para o fósforo, quanto para o potássio. No caso do fósforo, a amplitude do EUN variou de -43% a + 35%, tendo valor médio de +5%, considerando, assim, que a quantidade de fósforo em média fornecida ficou acima da exportação, com pequena margem. Para o potássio, a amplitude do EUN também apresentou variação, sendo que o menor valor ficou em -43% e o maior ficou em +36%. Nesse caso, a amplitude de variação das doses de aplicação não correspondeu à amplitude de exportação da cultura, sendo que grande parte da área teve sua produtividade situada em torno da média da exportação, 90% do total. Isso reforça os dados apresentados por Rajj et al. (1997), segundo os quais a cultura da soja necessita dos nutrientes fósforo e potássio em maior quantidade para a produção de grãos, pois é menos eficiente do que o trigo e ambas as culturas, menos eficientes do que o milho.

Tabela - 10 – Estratégia de manejo dos fertilizantes aplicados a taxa variada na cultura da soja e seu efeito sobre a produtividade, talhão Schmidt , 2006/07.

Fósforo (P2O5)					
Adução	Dose aplicada	Área	Produtividade	*QE	**EUN
Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	ha	Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	%
*E - 18	24	7	2.993	42	- 43
E - 3	39	34	3.025	42	- 7
E + 1	45	37	3.121	44	+ 2
E + 8	52	41	3.153	44	+ 18
E + 16	61	6	3.178	45	+ 35
Média	45		3.099	43	+ 5
Potássio (K2O)					
Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	ha	Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	%
E - 26	34	7	2.993	60	- 43
E - 4	56	34	3.025	60	- 7
E + 2	64	37	3.121	62	+ 3
E + 11	74	41	3.153	63	+ 17
E + 23	87	6	3.178	64	+ 36
Média	64		3.099	62	+ 3

*E (exportação de nutriente em função do rendimento médio obtido)

**QE (14 kg de P2O5 e 20 kg de K2O por tonelada de grão de soja)

***EUN= $(\text{Dose aplicada} \times 100) / (\text{QE} - 100)$; (Eficiência do Uso de Nutrientes, valores positivos referem-se à porcentagem de nutriente que não foi exportada, valores negativos referem-se à porcentagem de nutriente fornecida pelo solo.)

Para a safra agrícola 2007/08, a cultura do milho foi implantada com a formulação 00-28-18, sendo que o critério utilizado foi o mapa de exportação requerido pela cultura para um rendimento potencial de 9,0 toneladas. Para o suprimento inicial da cultura, foram utilizados 200 kg ha⁻¹ da formulação na linha de plantio, sendo o restante aplicado a lanço a taxa variada, completando a dose final de cada ponto. Assim, pode-se observar na figura 8 que houve variação entre as doses, sendo 23,62% correspondente a doses entre 250-257 kg ha⁻¹, e pouco significativo entre as maiores doses, apenas 0,55% com as maiores doses 308-315 kg ha⁻¹. A maior parte das doses ficou entre 264 a 294, totalizando, nesse caso, 56% da área. Nota-se, também, que as maiores doses de aplicação estão concentradas no meio do talhão e as menores, nas bordas. Isso porque há uma tendência de haver problemas físicos, como a

compactação provocada pelas máquinas nas extremidades da lavoura, podendo, nesse caso, ser um dos fatores que determinam o baixo potencial produtivo nas bordas da lavoura.

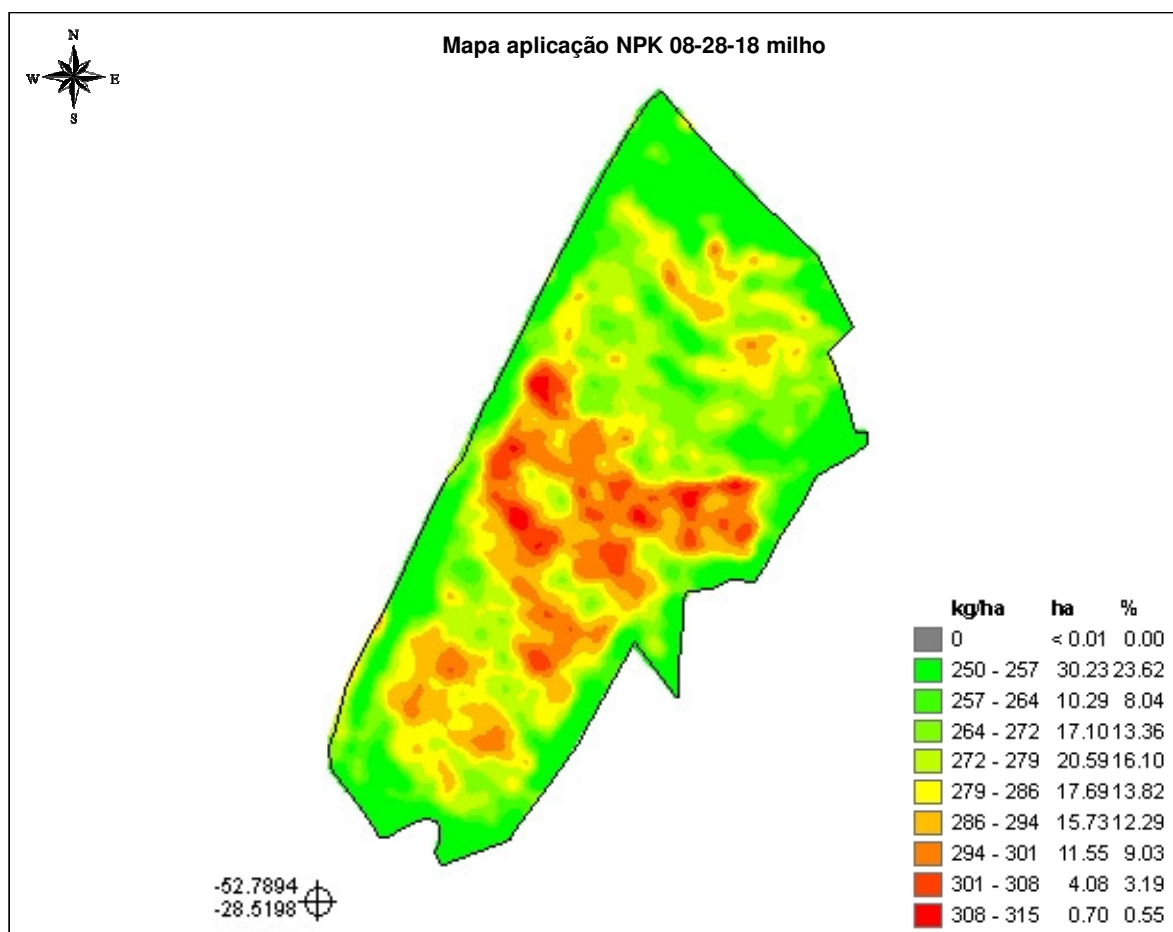


Figura 9 - Mapa de aplicação a taxa variada na safra agrícola 2007/08, com a formulação NPK 08-28-18

Os resultados apresentados na tabela 11 indicam que houve pequena variação no EUN, tendo valores -5% a +1%, considerando as doses aplicadas de fósforo. Isso também foi consequência da pequena amplitude de variação das doses de aplicação, pois, nesse caso, foi utilizada a média de dois mapas de exportação e a amplitude de variação não era grande. Observa-se, também, que a produtividade apresentou tendência crescente conforme as doses de aplicação. Isso reforça o critério de que, quando os teores no solo estiveram acima do nível de suficiência, o mapa de exportação mostrou-se a melhor opção de alocação de insumos para fins de melhoria da eficiência da adubação. Para o potássio, a variação do EUN obteve valores -20% com 28% da área, - 18% com 45% de área e -13% com 27% de área,

Isso mostra que mesmo com valores abaixo da exportação da cultura do milho, o solo conseguiu fornecer potássio suficiente para a obtenção de altos rendimentos.

Tabela 11 – Estratégia de manejo dos fertilizantes aplicados a taxa variada na cultura do milho e seu efeito sobre a produtividade, talhão Schmidt , 2007/08.

Fósforo (P2O5)					
Adubação	Dose aplicada	Área	Produtividade	*Q,E	**EUN
Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	ha	Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	%
*E - 4	72	35	9.525	76	- 5
E - 3	78	56	10.106	81	- 4
E + 1	82	34	10.142	81	+ 1
Média	77		9.919	79	- 3
Potássio (K2O)					
Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	ha	Kg ha ⁻¹	Kg ha ⁻¹	%
E - 11	46	35	9.525	57	- 20
E - 11	50	56	10.106	61	- 18
E - 8	53	34	10.142	61	- 13
Média	50		9.919	59	- 15

*E (exportação de nutriente em função do rendimento médio obtido)

**QE (8 kg de P2O5 e 6 kg de K2O por tonelada de grão de milho)

***EUN= $(\text{Dose aplicada} \times 100)/\text{QE}-100$; (Eficiência do Uso de Nutrientes, valores positivos referem-se à porcentagem de nutriente que não foi exportada, valores negativos referem-se à porcentagem de nutriente fornecida pelo solo.)

Na tabela 12 observa-se que houve variação no fornecimento de fósforo no acumulado de 4 safras e que a variação do EUN foi em 92% positiva, isto é, na média acumulada foi aplicado fósforo acima da exportação das culturas, considerando as quantidades médias ao longo das culturas. Nota-se, também, que no acumulado de exportação houve tendência crescente da produtividade até o valor acumulado de exportação de 196 kg ha⁻¹ de fósforo e, a partir desse patamar, não houve resposta à ampliação das doses de fósforo no solo. Portanto, para as áreas situadas acima desse valor, é possível que não haja resposta para a adubação fosfatada. Para o potássio, a amplitude acumulada do EUN variou desde -14% a +44%. Nota-se, também, que a resposta em exportação acumulada situou-se com valores crescentes e significativos até a quantidade de 225 kg ha⁻¹ exportada de potássio, bem próxima da média

geral que foi de 223 kg ha⁻¹. Deve-se destacar que, no primeiro ano de cultivo, dois fatores contribuíram muito para esse saldo na exportação, a formulação com alta concentração de potássio e a baixa exportação da cultura da soja em função da estiagem.

Tabela 12 – Dose de nutriente aplicada, área, quantidade de nutriente exportada e eficiência do uso de nutrientes ao longo de 5 safras agrícolas, talhão Schmidt 2004 a 2008.

Fósforo (P2O5)			
*DA	Área	**Q,E	***EUN
Kg ha ⁻¹	ha	Kg ha ⁻¹	%
172	1	177	- 1
193	9	193	0
212	41	196	+ 8
236	29	194	+ 22
261	36	192	+ 36
284	9	197	+ 44
Média 236	-	195	+ 21
Potássio (K2O)			
*DA	Área	**Q,E	***EUN
Kg ha ⁻¹	ha	Kg ha ⁻¹	%
171	1	199	- 14
190	5	211	- 10
214	35	220	- 3
235	44	225	+ 4
262	23	226	+ 16
295	17	228	+ 29
Média 294	-	223	+ 32

*DA (Dose de nutriente aplicada ao longo de 5 safras)

**QE (Quantidade de nutriente exportado pelas culturas ao longo de 5 safras)

***EUN=((Dose aplicada x 100)/QE-100) ; (Eficiência do Uso de Nutrientes, valores positivos referem-se à porcentagem de nutriente que não foi exportada, valores negativos referem-se à porcentagem de nutriente fornecida pelo solo.)

4.4 Conclusões

A distribuição de fósforo e potássio a taxa variada permitiu que fosse ampliado o fornecimento de nutriente acima e/ou abaixo da exportação das culturas, não interferindo no rendimento.

No talhão Lagoa a distribuição dos fertilizantes a taxa variada ao longo de 5 safras agrícolas permitiu que houvesse um balanço geral de - 2% no fornecimento de fósforo e +19% para o potássio em relação a quantidade exportada. Já para o talhão Schmidt o balanço para o fósforo ficou + 21% e para o potássio + 32% em relação a quantidade de nutriente exportada pelas culturas.

4.5 Referências bibliográficas

AMADO, T. J. C. et al. Projeto Aquarius-Cotrijal: pólo de AP. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 91, n. 1, p. 39- 47, jan./fev. 2006.

BALASTREIRE, L. A. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade da cultura do milho. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v.8, n.1, p.97-111, jan./jun. 1997.

_____. Aplicação Localizada de Insumos-ALI: Um velho conceito novo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1994, Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, 1994. p. 248, 1994.

_____. Potencial do uso da agricultura de precisão no Brasil. In: II ENCONTRO PAULISTA DE SOJA, 2., 2000, Campinas. **Anais...** Campinas, Unicamp, 2000.p. 176-217.

BONGIOVANNI, R.; DEBOER, J. L. Economics of variable rate lime in Indiana: an overview. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION FARMING, 4., 1998, Minnesota. **Proceedings....** Minnesota: ASA, CSSA,SSSA, 1998. v.2, p.1653-1665.

BORKERT, C. M.; SFREDO, G. J.; SILVA, D. N. Calibração de potássio trocável para soja em Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, n. 2, p. 223-226, mar./abr. 1993.

COLVIN, T. S. et al. Six year yield variability within a central Iowa field. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY, 1996, Minneapolis. **Proceeding...** Minneapolis: ASA, CSSA, SSSA, 1996. p. 863-870.

CUNHA, G. R. da; BERGAMASCHI, H. Efeitos da disponibilidade hídrica sobre o rendimento das culturas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre, Ed. da Universidade/UFRGS, 1992. p. 85-97.

FERGUSON, R. B. et al. Site-specific nitrogen management of irrigated corn. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1998, St. Paul. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy, 1999. Part A, p.733-43.

FIORIN, J. E., **A rotação de culturas e as plantas de cobertura do solo**. Cruz Alta, Fundacep, 1999. p. 1-8. (Informativo Fundacep, n. 02)

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 12. ed. São Paulo: Nobel, 1987.

KUHAR, J. E.(ed) **The precision-farming guide for agriculturists**. Moline, 1997. 117 p.

LEICK, A. **GPS satellite surveying**. 3rd ed. New Jersey: Wiley, 2004. 435 p.

MALZER, G. L. Is Precision farming good for society? **Better Crops With Plant Food**, Norcross, v. 80, n. 3, p. 6-8, 1996.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão: o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba: Ed. Autor, 2001. 83 p.

MOLIN, J. P. Desafios da agricultura brasileira a partir da agricultura de precisão. In: SIMPÓSIO SOBRE ROTAÇÃO SOJA/MILHO NO PLANTIO DIRETO, 3., 2002, Campinas. **Anais...** Campinas, 2002. 9 p.

NICOLODI, M. **Evolução da noção da fertilidade e sua percepção como uma propriedade emergente do sistema solo**. 2007b. 140 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

RAIJ, B. van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: ITCtituto Agrônômico/Fundação IAC, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).

REICHARDT, K.; VIEIRA, S.R. & LIBARDI, P.L. **Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo.** R. Bras. Ci. Solo, 1986.

SANTI, A. L. **Aprimoramento do manejo do solo utilizando as ferramentas da AP.** 2007. 210 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) –Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SCHLINDWEIN, J. A. **Calibração de métodos de determinação e estimativa de doses de fósforo e potássio em solos sob sistema plantio direto.** 2003. 169 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SEARCY, S. W. **Computer Integrated Farming with MAPS (Management of Agricultural Production Spatially). Proposal to the Advanced Research Program/Advanced Technology Program.** Austin: Texas A&M University, College Station, 1989. 9 p.

TWEETEN, L. Is precision farming good for society? **Better Crops With Plant Food,** Norcross, v. 80, n. 3, p.3-5, 1996.

5 CAPITULO 3: DISTRIBUIÇÃO DO RENDIMENTO DAS CULTURAS EM ZONAS DE POTENCIAL PRODUTIVO E SUA CORRELAÇÃO COM ATRIBUTOS DE SOLO

5.1 Introdução

A geração e a interpretação de mapas de produtividade de culturas agrícolas é um dos segmentos da AP que tem recebido especial atenção de pesquisadores e de fabricantes de máquinas agrícolas, em face de sua importância no contexto do entendimento do processo da variabilidade espacial da produção agrícola e na definição de ações de manejo agrônomo, que visam ao aumento e à manutenção sustentada dos índices de produtividade de uma lavoura agrícola.

Para Willis et al. (1999), quando os produtores observam mapas de produtividade, eles estão olhando para padrões e tendências gerais, tais como áreas de produtividade extraordinariamente alta ou baixa. Uma vez identificadas as áreas, consideram os autores que seria, então, tarefa do produtor, mais familiarizado com os solos e a história do campo, tentar deduzir o motivo de tais variações. Acrescentam ainda que, se o conhecimento das características dos solos e do histórico da área permitem ao agricultor lançar a hipótese de um fator que esteja limitando a produtividade, algumas ações poderiam então ser tomadas para manejar as áreas de baixa produtividade de modo diferenciado, a fim de obter-se delas um melhor rendimento. Os mapas de produtividade, ainda segundo os autores, atendem às necessidades dos agricultores como descrito acima e são desenhados para serem prontamente compreensíveis e visualmente agradáveis, mas, para pesquisa científica, os métodos de coleta de dados são deficientes. Para Willis et al, (1999), os dados brutos do monitor de colheita embutem alguns erros inerentes, que precisam ser entendidos, a fim de se obter o conhecimento suficiente para corrigi-los da melhor forma possível.

Segundo Balastreire (1998), a geração de mapas de produtividade é a fase que apresenta maior facilidade de execução dentro do ciclo da AP. Devido à grande variedade de equipamentos e pesquisas realizadas, principalmente em colheita de cereais, tais como soja e milho, pode-se coletar grande quantidade de informações sobre uma área a um custo operacional acessível .

Os monitores de produtividade fornecem uma medida relativamente precisa da produtividade em uma faixa ou uma linha de corte ou um campo, de acordo com Kuhar (1997). Porém, devido ao próprio processo de colheita e da medição indireta da produtividade, é mais seguro confiar na informação do mapa de produtividade como um todo do que em cada uma das frações que o compõem, pois, embora a calibração ajuste as medidas feitas pelo monitor de acordo com medidas pesadas na faixa ou campo, isto não certifica que qualquer ponto tomado isoladamente seja inteiramente preciso. Além disso, ressalta o autor, cada fração ou ponto do mapa de produtividade está associado a uma área que corresponde à largura de corte multiplicada pelo espaço percorrido pela colhedora a cada intervalo de registro de dados, conforme a sua velocidade de deslocamento.

Analisando essa questão, Willis et al. (1999) afirmaram que há muitos erros intrinsecamente associados aos dados de um monitor de colheita, os quais devem ser considerados ao se fazer uso deles para pesquisa científica. Os erros incluem defasagem de tempo da cultura, desde a alimentação até o sensor de produção, calibração do sensor de produção, precisão do GPS, incerteza quanto à faixa de cultura entrando na plataforma, grãos em massa, perda de grãos e muitos outros não listados (Willis et al., 1999). A defasagem, associada com a latitude e longitude registrada para a medida de produção da cultura desde a alimentação até alcançar o sensor de produção, segundo os autores, foi o maior problema encontrado ao se correlacionar produtividade aos "pixels" correspondentes na imagem hiperespectral. A maioria das indústrias de monitor de produtividade adota um tempo básico de 12s. Esse número, conforme Willis et al. (1999), foi determinado, um tanto arbitrariamente, como a defasagem média de tempo. Ele será maior ou menor em função de um vasto conjunto de operações e variáveis de campo, e pode valer de 8 a 30s, dependendo de quão pesada é a produção e da velocidade desenvolvida pela colhedora.

Em estudos posteriores, Lark et al. (1999), partindo do pressuposto de que todo campo mostrará alguma variação de solo, admitiram que a variação espacial, em alguns campos, pode ser muito complexa, enquanto que em outros, ela ocorre em tais escalas cujo mapeamento e manejo se fazem de forma bem mais clara.. Em alguns casos, pode decidir-se por não proceder com planos para manejo localizado em resposta aos fatores de solo, caso a variação espacial seja limitada, ou muito intrincada. Em outros casos, a escala espacial da variação da produtividade indicará o provável nível de esforço de campo necessário para solucionar a variabilidade natural do solo.

Conforme é exposto por Lark et al. (1997b), a tecnologia de mapeamento da produtividade tem sido disponibilizada comercialmente há vários anos. Entretanto, a

interpretação dos dados é ainda um tanto fragmentada. Os autores argumentaram que, se o potencial do mapeamento da produtividade deve ser completamente esclarecido, então é necessário estabelecer um procedimento para uma interpretação mais compreensível dos mapas de produtividade. Neste sentido, dados de produtividade e de amostras regionalizadas de solo têm sido utilizados por diversos autores para estudar a correlação entre a variabilidade de propriedades do solo e a produtividade de culturas (COELHO et al.,1999).

Assim, o estudo da variabilidade espacial do rendimento das culturas, ao longo dos anos, permite espacializar zonas com potencial produtivo distinto, podendo, pois, orientar intervenções de manejo específicas, conforme o comportamento das culturas e das variáveis de solo.

5.2 Material e métodos

O estudo se realizou em duas áreas agrícolas comerciais pertencentes ao Projeto Aquarius, localizadas no município de Não-Me-Toque (RS), distantes 250 km de Santa Maria, e ambas representativas da principal região produtora de grãos do RS. O município está localizado na Região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, na microrregião do Alto Jacuí, com uma área territorial de 365,5 km². Pelo sistema internacional de classificação climática de Köppen, o município se enquadra na zona fundamental temperada (C), tipo fundamental úmido (Cf), com variedade específica subtropical (Cfa). A variedade subtropical úmido apresenta chuva bem distribuída durante o ano (nenhum mês com menos de 60 mm) e temperatura média do mês mais quente superior a 22,0 °C (CUNHA, 2008). A região situa-se na zona da escarpa arenito-basáltica do Planalto Meridional Brasileiro, com solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, textura muito argilosa (>60%), com profundidade média de 1,5 metros (EMBRAPA, 1999).

O talhão da Lagoa, com 132 ha, está localizado entre as coordenadas de latitude -28 28' 46,63031" e longitude -52 46' 56,21167", com o Datum WGS 1984 e altitude média 487 m. O talhão Schmitt, com 125 ha, está localizado entre as coordenadas de latitude -28 30' 37,41451" e longitude -52 46' 55,84588", seguindo o Datum WGS 1984 e altitude média 471 m. Para fins desse estudo, serão utilizados 256 ha referentes às duas áreas acima citadas.

Os dados de produtividade nas safras para este estudo foram coletados a partir da safra agrícola 2004/05, no talhão Schmidt e no talhão Lagoa, a partir da safra agrícola

2004/05, obedecendo ao procedimento estabelecido previamente, que era composto de: checagem de todos os componentes envolvidos no monitoramento da colheita (gps, monitor de colheita, sensores, calibração do sistema estático e dinâmico, monitoramento da umidade ao longo do período de colheita, alteração do fator de calibração da cultura). Desta forma, para o talhão Lagoa foram monitoradas as seguintes operações de colheita: safra 2004/05, milho; safra 2005, trigo; safra 2005/06, soja; safra 2006/07, soja e safra 2007/08, milho, conforme a tabela 1. A mesma colhedora MF 34 foi utilizada para a colheita do talhão Schmidt nas seguintes safras: safra 2004/05, soja; safra 2005/06, soja; safra 2006/07, soja e safra 2007/08, milho, conforme a tabela 1.

Tabela 1 - Sequência de culturas avaliadas com mapas de colheita.

Talhão Lagoa – 132 ha				
Ano	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08
**cultura	aveia	*trigo	aveia	aveia
***cultura	*milho	*soja	*soja	*milho
Talhão Schmidt – 125 ha				
Ano	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08
**cultura	aveia	aveia	aveia	Aveia
***cultura	*soja	*soja	*soja	*milho

*cultura com mapa de colheita avaliada

**cultura (refere-se à cultura implantada no período de inverno)

***cultura (refere-se à cultura implantada no período de verão)

A máquina utilizada tem o monitor Datavision®, componente que faz parte do sistema FieldStar® da AGCO, equipada com o sistema Fieldstar® de AP, figura 1. Congrega um conjunto de sensores de rendimento do tipo Micro Track® de duas hastes, cartão para armazenamento de dados tipo PCMCIA e uma antena receptora de sinal com Sistema de Posicionamento Global. A tecnologia embarcada nessa colhedora permite que o usuário registre e armazene, em um determinado intervalo de tempo, a posição (latitude, longitude e altitude) da máquina e a quantidade de produção por unidade de área.

A colheita tinha início com a abertura de um trabalho gravado no cartão de dados que, posteriormente, fornecia informações sobre a área colhida, rendimento acumulado, tempo gasto, etc. Para que a coleta dos dados obedecesse a critérios científicos, o peso de cada

caminhão, que escoava a produção da lavoura, era armazenado numa planilha de dados na fazenda, que dispunha de balança de precisão, determinador de umidade e impurezas, sendo feita a conferência com os dados apresentados pelo monitor de colheita a cada novo trabalho iniciado. Assim, o cruzamento das informações de campo com as de escritório permitiam a confiabilidade e o ajustamento dos componentes de monitoramento da colheita.



Figura 1 – Colhedora Massey Ferguson, modelo MF 34 equipada com o Sistema Fieldstar® .

Os dados de colheita foram coletados com a configuração de armazenamento pela largura da plataforma 7,2 m. Desta maneira, a quantidade de dados brutos foi submetida a um processo de filtragem interno, feito pelo próprio monitor de colheita e, após, transferida para o microcomputador, através do cartão de dados PCMCIA. Os dados de colheita de ambas as áreas foram submetidos a um processo de filtragem, a fim de identificar e eliminar eventuais erros, como proposto por Menegatti (2002). Com auxílio do software CR-Campeiro 6, Sistema Agropecuário desenvolvido pelo Setor de Geomática do Departamento de Engenharia Rural da UFSM, (GIOTTO et al.,2007), figura 2, as áreas foram divididas em quadrículas (células) com dimensões de 17 x 17 m, perfazendo uma área de aproximadamente 289 m². Após a realização da filtragem dos dados de colheita, foram gerados modelos digitais de colheita de cada uma das safras agrícolas, tendo esses dados sido correlacionados com atributos de solo e também com modelos digitais das culturas.



Figura 2 – Tela de visualização do software Campeiro 6, com detalhe da visualização de mapas.

Para a determinação de zonas de potencial produtivo, foi utilizada uma metodologia em que há o agrupamento de quadrículas com o mesmo valor, ao longo de 6 safras agrícolas, no talhão Lagoa e 4 safras agrícolas no talhão Schmidt, proposta por Molin (2002), porém com quadrícula de 17 x 17 m, com os seguintes critérios:

- Produtividade alta e consistente: produtividade do ponto acima de 105% da média do talhão e coeficiente de variação menor que 30%.
- Produtividade média e consistente: produtividade do ponto entre 95% e 105% da média do talhão e coeficiente de variação menor que 30%.
- Produtividade baixa e consistente: produtividade do ponto abaixo de 95% da média do talhão e coeficiente de variação menor que 30%.

Também foi utilizada a classificação proposta por Shiratsuchi et al. (2005), porém com tamanho de quadrícula de 17 x 17 m, com os seguintes critérios:

- Produtividade alta e consistente: produtividade do ponto acima de 110% da média do talhão e coeficiente de variação menor que 30%.
- Produtividade média e consistente: produtividade do ponto entre 90% e 110% da média do talhão e coeficiente de variação menor que 30%.
- Produtividade baixa e consistente: produtividade do ponto abaixo de 90% da média do talhão e coeficiente de variação menor que 30%.

5.3 Resultados e discussão

Os resultados referentes aos dados de produtividade, apresentados na tabela 2, referem-se ao talhão da Lagoa com área mapeada de 132 ha e a área Schmidt, com 125 ha. A distribuição da coleta de dados permitiu que houvesse o maior número de pontos coletados nos anos em que houve o estabelecimento da cultura do milho, em relação aos anos em que houve o plantio da cultura da soja, em ambas as áreas. Para a cultura do milho, na safra agrícola 2004/05, o talhão Lagoa apresentou produtividade média de 6.540 kg ha^{-1} , sendo que no mês de dezembro do ano de 2004, a precipitação ficou abaixo da média histórica, conforme a figura 3, tendo afetado a produtividade de maneira parcial, pois a cultura do milho encaminhava-se para o final do ciclo reprodutivo. No talhão Schmidt, o rendimento de soja foi afetado drasticamente, conforme os resultados da tabela 2, sendo que o rendimento médio ficou em 1.560 kg , um rendimento muito aquém do que a fazenda havia colhido historicamente. Também nesse ano, pode-se observar que o (CV%) foi o maior em ambos os talhões com 26% para o talhão Lagoa, com a cultura do milho e 31% para o talhão Schmidt, com a cultura da soja, destaque entre todo o conjunto de dados de colheita, ressaltando que esse comportamento evidencia maior amplitude de variação da produtividade e disformidade na distribuição dos pontos de colheita ao longo da área. Isso também pode ser visualizado na figura 4 e 5, onde os mapas de produtividade desses anos apresentam grandes diferenças de produtividade ao longo do talhão.

Para o rendimento de trigo na safra de 2005, observa-se que o (CV%) diminuiu em relação à safra anterior, porém o rendimento final ficou em 2.448 kg ha^{-1} , sendo afetado, em parte, pelas altas precipitações ocorridas no mês de outubro de 2005, conforme a figura 3, quando o cereal se encontrava na fase final de enchimento de grãos, e a condição climática do mês afetou a qualidade final dos grãos.

Os resultados da safra agrícola de 2005/06, no talhão Lagoa, apresentaram produtividade média de 3.396 kg ha^{-1} , sendo esse o maior rendimento histórico obtido com a cultura da soja nesse talhão. Porém, observa-se na figura 5 que há decréscimo na produtividade na parte superior do talhão. Isso ocorreu devido à implantação de outra cultivar de soja nesta subárea, sendo que, na avaliação final a mesma produziu, em média, 600 kg ha^{-1} a menos que o restante do talhão. O fato reforça a necessidade de escolha correta de cultivares com potencial genético compatível e com características fenológicas semelhantes, pois o comportamento, durante o ciclo da cultura, demanda manejo diferenciado quanto à aplicação

de tratamentos fitossanitários, o que poderá influenciar diretamente no rendimento final da cultura. Já no talhão Schmidt, a produtividade também alcançou patamares históricos da fazenda, chegando a 3.497 kg/ha, sendo também o melhor desempenho encontrado no talhão. Em ambos os talhões o coeficiente de variação (CV%) foram considerados adequados para um ano normal, porém, no talhão Lagoa, o valor ficou em 19% na média e no talhão Schmidt, em 13% na média, sendo que no primeiro caso a contribuição das diferenças de cultivares influenciou o comportamento final do (CV%).

Na safra agrícola 2006/07, em ambas as áreas, foi implantada a cultura da soja, sendo que, no talhão Schmidt, a seqüência de rotação 2:1 de soja para milho foi quebrada em virtude do sistema de rotação ter que se adequar à exigência da fazenda, pois a área destinada para milho, nesse ano, deveria incluir outros talhões da fazenda. Assim, no talhão Lagoa obteve-se produtividade média de 3.259 kg ha⁻¹, superior ao talhão Schmidt que produziu 3.099 kg ha⁻¹. Essa diminuição do rendimento em relação ao ano anterior pode ser, em parte, explicada pela precipitação ocorrida nos meses de dezembro de 2006 e janeiro de 2007, bem abaixo da média histórica em ambos os casos, que era de 161 mm em dezembro, tendo chovido apenas 48 mm e, no mês de janeiro, cuja média histórica era de 143 mm, a precipitação ocorrida alcançou apenas 77 mm. Esses períodos de diminuição das precipitações coincidiram com a etapa de pleno desenvolvimento do estágio vegetativo e o início do estágio reprodutivo, essenciais na definição do rendimento final da cultura da soja. De maneira geral isso não influenciou o coeficiente de variação do mapa de colheita, com valores de 15% para o talhão lagoa e 14% para o talhão Schmidt. Na figura 5 observa-se que a produtividade da soja, na parte superior do mapa (soja 2007), apresenta um decréscimo, sendo que esta subárea possui um tráfego intenso de tratores e máquinas no momento da colheita, pois é onde ocorre a saída do talhão, o que pode estar ocasionando problemas referentes à estrutura física do solo e, como consequência, sobre a produtividade final.

Os resultados referentes à safra agrícola 2007/08 foram considerados como os de melhores produtividades históricas obtidas em ambos os talhões. No talhão Lagoa, a produtividade alcançou o patamar de 11.520 kg ha⁻¹. Se comparado com a última safra de milho no talhão, houve um incremento de 76% na produtividade média. No talhão Schmidt a produtividade média alcançou os 9.918 kg ha⁻¹, rendimento 12% superior ao último ano em que o milho foi cultivado no local, na safra agrícola 2003/04 com 8.880 kg ha⁻¹. Ambos os talhões apresentaram coeficiente de variação (CV%), em torno de 18% para o talhão Lagoa e 16% para o talhão Schmidt. A diferença só não foi maior porque, conforme a figura 5, observa-se que, na parte superior do mapa, o rendimento médio tendeu a ser menor que o

restante da área. Isso ocorreu devido à diminuição da população de plantas em 10.000 plantas/ha, sendo que, nessa parte da lavoura, a população final chegou a 48.000 plantas/ha e, no restante da área, chegou a 58.000 plantas/ha. Nota-se que nessa safra agrícola as precipitações, até o mês de dezembro de 2007, conforme a figura 3, foram superiores à média histórica, permitindo que o suprimento de água para a cultura fosse atendido em ambas as áreas, nos diferentes estágios de desenvolvimento, favorecido também pelo sistema de rotação de cultura implantado ao longo dos anos.

Tabela 2 - Parâmetros estatísticos descritivos dos mapas de colheita avaliados talhão Lagoa 132 ha e talhão Schmidt 125, Não-Me-Toque, RS.

Talhão Lagoa – 132 ha					
Parâmetros avaliados	Milho 04/05	Trigo 2005	Soja 05/06	Soja 06/07	Milho 07/08
Nº de pontos coletados	34.895	20.676	22.377	21.910	37.775
Produtividade média(kg ha ⁻¹)	6.540	2.448	3.396	3.259	11.520
Produtividade mín. (kg ha ⁻¹)	1.793	1.139	1.312	1.354	5382
Produtividade máx. (kg ha ⁻¹)	9.540	4.122	4.810	4.882	15.423
Desvio Padrão (kg ha ⁻¹)	1.709	426	641	507	2.098
Coeficiente de Variação (%)	26	17	19	15	18
Talhão Schmidt – 125 ha					
Parâmetros avaliados	Soja 04/05	Soja 05/06	Soja 06/07	Milho 07/08	
Nº de pontos coletados	20.608	20.053	20.457	38.270	
Produtividade média(kg ha ⁻¹)	1.560	3.497	3.099	9.919	
Produtividade mín. (kg ha ⁻¹)	305	2.002	1.501	4.000	
Produtividade máx. (kg ha ⁻¹)	3.299	4.556	3.999	13.973	
Desvio Padrão (kg ha ⁻¹)	481	443	441	1.643	
Coeficiente de Variação (%)	31	13	14	16	

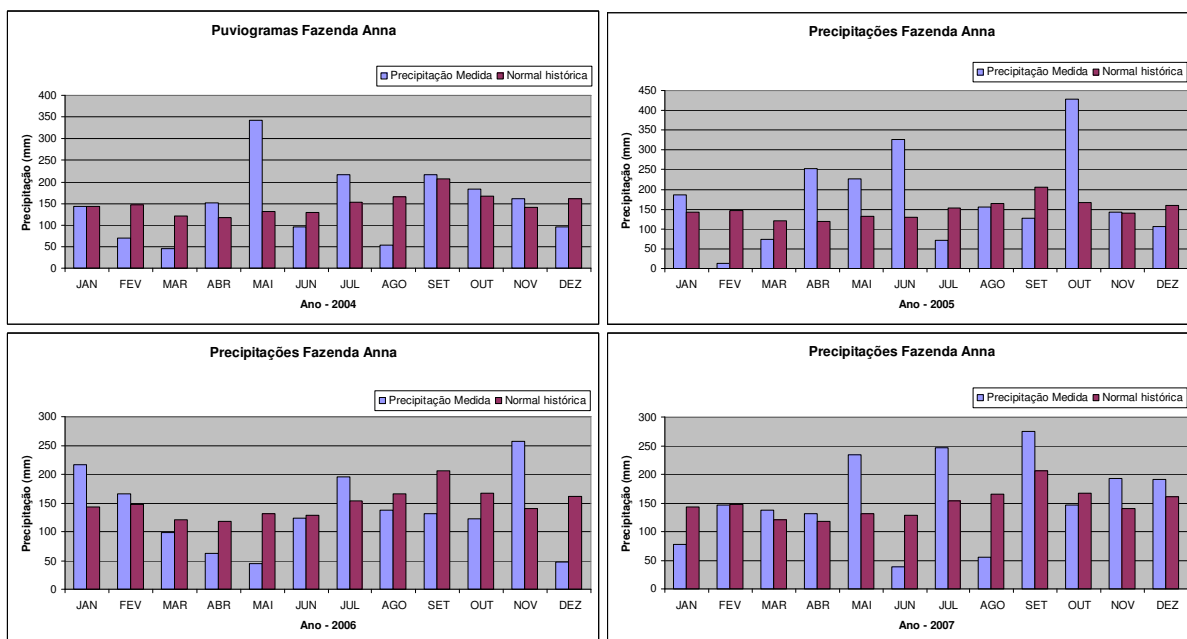


Figura 3 - Descrição das precipitações medidas e a norma histórica na Fazenda Ana durante o período do experimento.

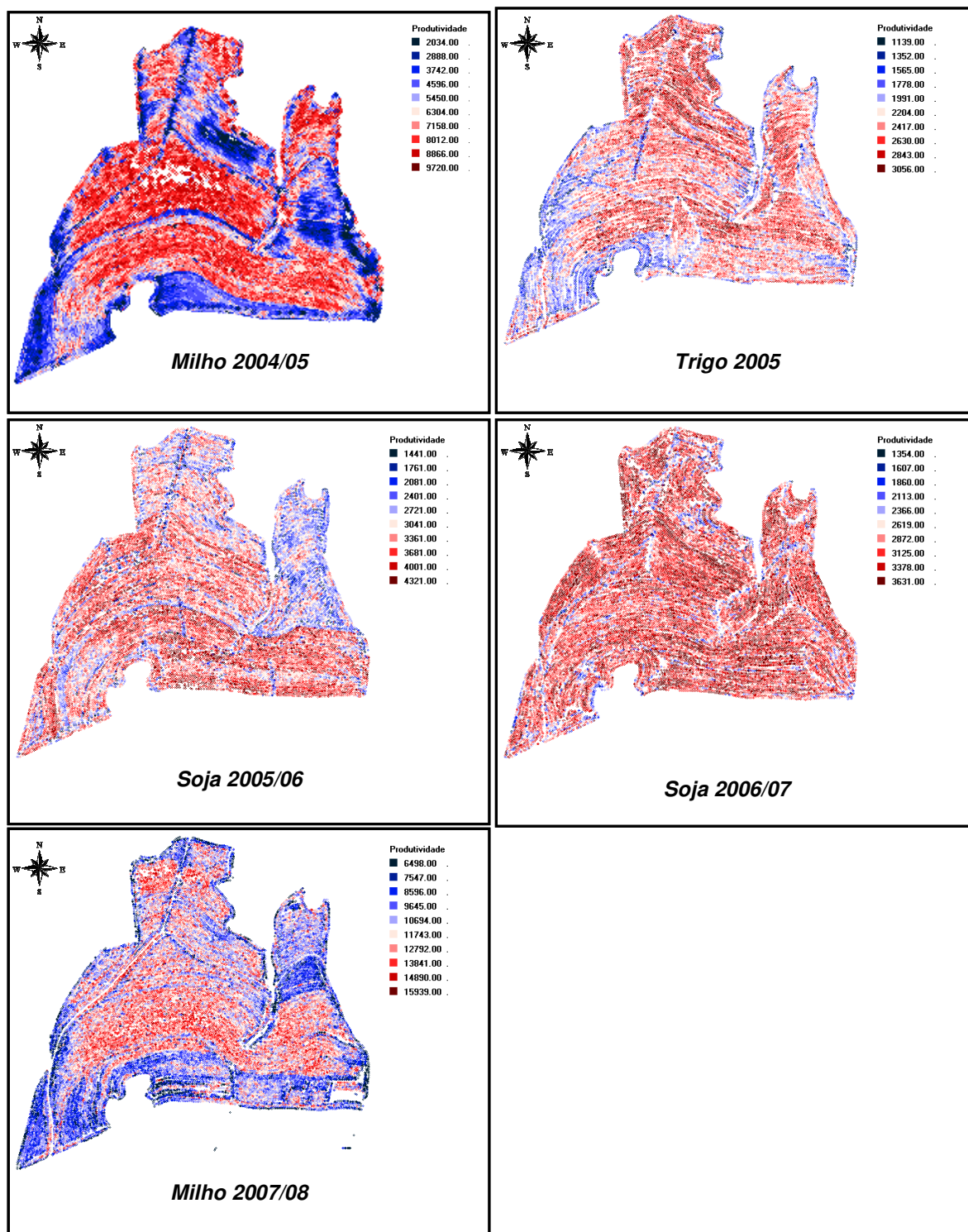


Figura 4 - Mapas de produtividade: milho 2004/05; trigo 2005; soja 2005/06; soja 2006/07 e milho 2007/08, talhão Lagoa, 132 ha.

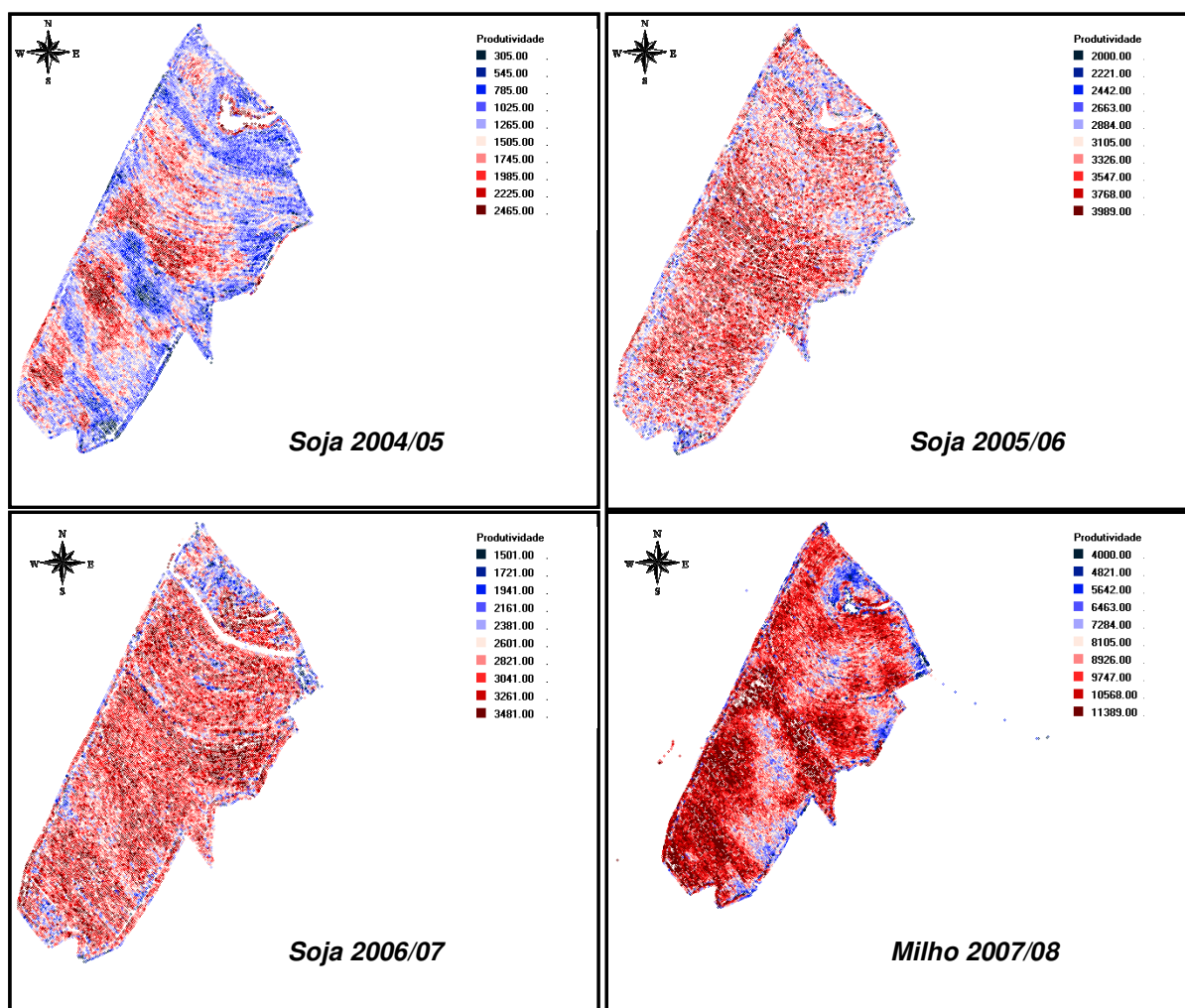


Figura 5 - Mapas de produtividade: soja 2004/05; soja 2005/06; soja 2006/07 e milho 2007/08, talhão Shcmidt, 125 ha.

A relação existente entre mapas de colheita, ao longo dos anos, depende muito do grau de variabilidade existente na área, principalmente das condições em que as culturas forem estabelecidas. Nesse sentido, deve-se ter o cuidado de executar os procedimentos de coleta de dados, filtragem e processamento, de maneira que as células possam apresentar valores mais próximos possíveis da realidade de campo. Nesse contexto, pode-se observar na tabela 3 para o talhão Lagoa, que a relação existente entre culturas da mesma família botânica tende a ser mais consistente, como é o caso da correlação existente entre a cultura do milho no ano de 2004/05 com milho 2007/08, que atingiu 0,44. Também o trigo, no ano de 2005, teve bom desempenho com o milho 2007/08, atingindo 0,50 de correlação. Esse fato mostra que a cultura do milho é muito mais sensível a problemas localizados e a condições climáticas desfavoráveis, visto que na safra agrícola 2004/05 houve a influência do déficit hídrico na

cultura do milho. Outro dado que chama a atenção é o baixo valor de correlação entre a cultura da soja, pois essa, em anos normais, tende a compensar os efeitos da variabilidade do solo e do ambiente. É importante ressaltar os dados da safra agrícola 2005/06, no talhão Lagoa, e os dados de produtividade de soja da safra seguinte, quando os valores alcançaram patamares negativos – 0,01. Isso devido, em grande parte, ao plantio de duas cultivares de soja, cujo resultado final de produtividade apresentou, em média, 600 kg ha⁻¹ de diferença. Já no talhão Schmidt, nota-se claramente a influência da estiagem na safra agrícola 2004/05, quando as correlações com as culturas seguintes atingiram valores muito baixos, 0,05% soja 05/06, 0,02% soja 06/07 e -0,01% com o milho 07/08. Observa-se, também, que a cultura da soja, em ano em que a precipitação atingiu a normalidade na distribuição, teve boa correlação com a própria cultura entre os anos de 05/06 e 06/07, com valor de 0,47% para o talhão Schmidt. O milho, em ano normal, teve valores de correlação com a soja na ordem de -0,01; com soja 04/05 ano de estiagem; 0,34 com a soja 05/06 e 0,25 para a soja 06/07. Nesse ano houve um pequeno déficit hídrico, mas em geral não chegou a afetar drasticamente a produtividade final do talhão Schmidt.

Tabela 3 - Correlação (r) entre mapas de produtividade nos talhões Lagoa – 132 ha e talhão Schmidt – 125 ha.

Correlação (r) entre mapas de produtividade – talhão Lagoa					
	Milho 04/05	Trigo 2005	Soja 05/06	Soja 06/07	Milho 07/08
Milho 04/05	1,000	-	-	-	-
Trigo 2005	0,23	1,000	-	-	-
Soja 05/06	-0,06	0,12	1,000	-	-
Soja 06/07	0,20	0,20	-0,01	1,000	-
Milho 07/08	0,44	0,50	0,04	0,22	1,000
Correlação (r) entre mapas de produtividade – talhão Schmidt					
	Soja 04/05	Soja 05/06	Soja 06/07	Milho 07/08	
Soja 04/05	1,000				
Soja 05/06	0,05	1,000			
Soja 06/07	0,02	0,47	1,000		
Milho 07/08	-0,01	0,34	0,25	1,000	

As culturas de grãos normalmente apresentam regiões com produtividades estáveis temporalmente, ou seja, regiões altamente produtivas ou de baixa produtividade em determinados locais ao longo dos anos (MOLIN.,2002). Esse fenômeno pode ocorrer devido a condições de fertilidade dos solos, infestação de plantas daninhas, pragas de solo, etc. Com isso, é possível monitorar o comportamento dessas regiões da lavoura e estabelecer intervenções específicas de manejo, sejam elas de caráter químico, físico ou biológico. Assim, pode-se observar na tabela 4, que a distribuição das zonas de potencial produtivo, segundo a classificação proposta por Molin (2002), apresenta distribuição semelhante no que se refere à zona de baixo potencial produtivo ao longo dos anos, no talhão Lagoa. Isso não é observado quando ocorre a mudança de critério, pois na classificação proposta por Shiratsuchi et al. (2005), a amplitude de variação em área aumenta, variando de 18,37 ha na safra agrícola de soja 2006/07 para 35,69 na safra agrícola de 2004/05 de milho. Nesse sentido, a distribuição da área tende a concentrar-se na zona de médio potencial produtivo, exceto no ano de 2004/05, em que apenas 38,29 há, talhão Lagoa e 46,14 há, talhão Schmidt, concentraram-se na zona de média. Observa-se também, nas figuras 6 e 7, que o mapa de soja 2006/07 foi o que apresentou a maior concentração da produtividade em torno da média, em ambas as classificações, e que os mapas de milho e trigo, figuras 6 e 7, nos diferentes anos apresentaram disformidade maior quanto à distribuição da produtividade ao longo do talhão Lagoa, em ambas as classificações.

Quanto ao talhão Schmidt, observa-se na tabela 4 que, na safra agrícola de soja 2004/05, há concentração de grande parte da área na zona de baixa, 54,06 ha e 45,94 ha na zona de alto potencial produtivo, segundo a classificação proposta por Molin (2002). Já, quando é utilizado o critério de Shiratsuchi et al (2005), a distribuição tende a concentrar-se na zona de baixa 42,89 ha, e na zona de média 46,14 há, restando somente 36,49 ha para a zona de alta. Isso ocorreu porque o déficit hídrico foi responsável pela grande amplitude de variação na distribuição da produtividade, conforme pode ser observado nos mapas das figuras 7 e 8, para a cultura da soja na safra agrícola 2004/05 no talhão Schmidt. O mesmo comportamento já não ocorreu na safra 2005/06 e 2006/07, tomando como referência a figura 8, onde a distribuição da produtividade concentra-se em grande parte em torno da média.

Novamente o milho, em ambas as classificações no talhão Schmidt, mostrou-se mais expressivo na definição das zonas potenciais, pois se revelou uma cultura com maior sensibilidade às diferenças de atributos que estejam influenciando a produtividade.

Tabela 4 – Distribuição da produtividade em zonas de potencial produtivo segundo a classificação proposta por Molin (2002) e Shiratsuchi et al (2005) nos talhões Lagoa e Schmidt .

Distribuição da produtividade em zonas de potencial produtivo – Lagoa – 132 ha.						
Safrá agrícola	Molin (2002)			Shiratsuchi et al. (2005)		
	<95%	95 - 105%	>105%	<90%	90 – 110%	>110%
	Área – ha			Área - ha		
Milho 04/05	43,84	19,23	69,17	35,69	38,29	58,25
Trigo 2005	40,52	45,06	46,65	25,72	81,22	25,29
Soja 05/06	43,90	42,44	45,89	26,47	79,34	26,41
Soja 06/07	34,33	61,90	35,95	18,37	98,34	15,51
Milho 07/08	44,38	33,99	53,86	30,34	70,18	31,71

Distribuição da produtividade em zonas de potencial produtivo – Schmidt - 125 ha.						
Safrá agrícola	Molin (2002)			Shiratsuchi et al. (2005)		
	<95%	95 - 105%	>105%	<90%	90 – 110%	>110%
	Área – ha			Área - ha		
Soja 2005	54,06	25,52	45,94	42,89	46,14	36,49
Soja 05/06	33,71	56,43	35,39	13,27	98,65	13,60
Soja 06/07	28,23	60,61	36,68	17,99	96,61	10,92
Milho 07/08	43,32	39,36	42,84	26,24	72,34	26,94

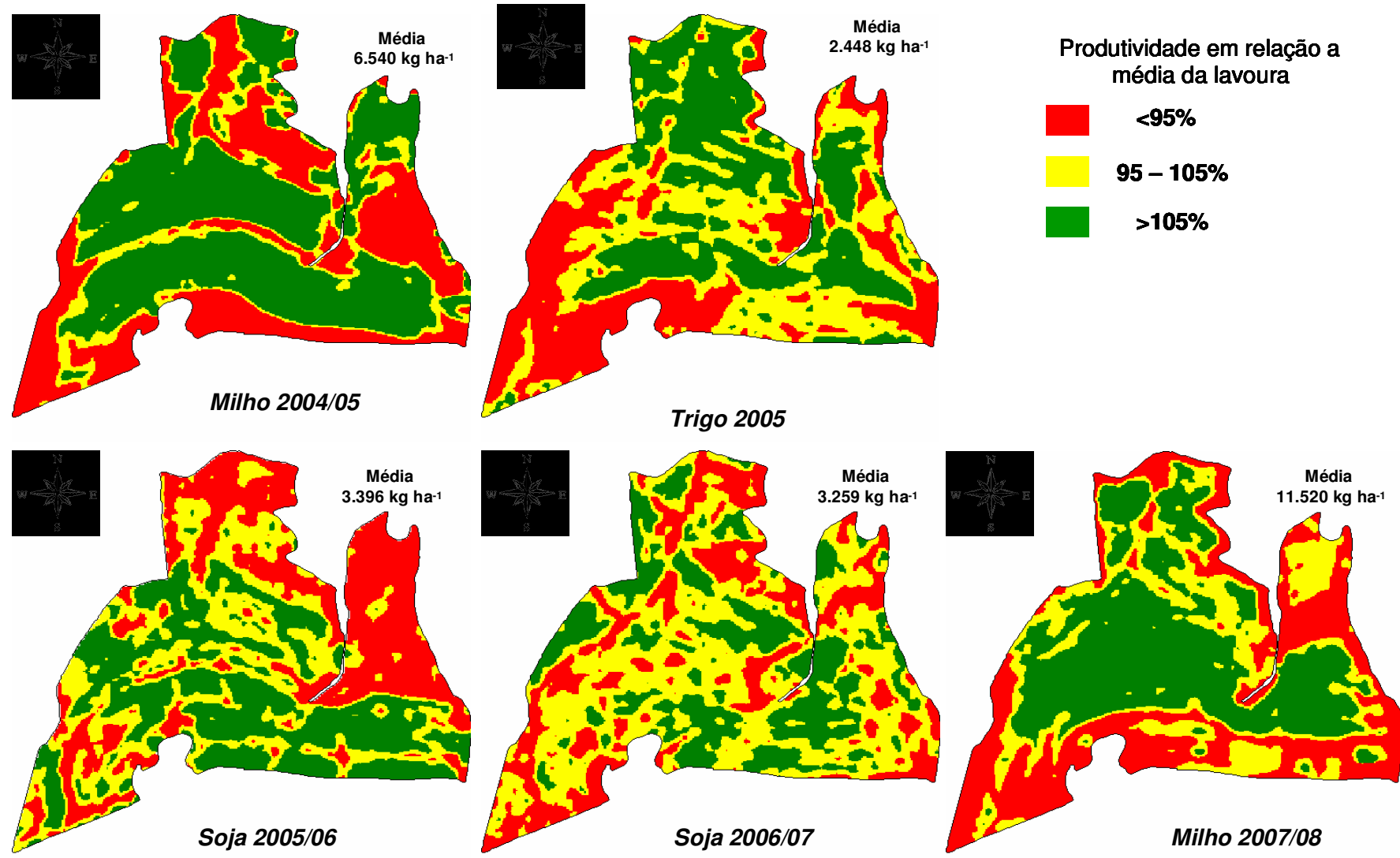


Figura 6 - Distribuição do rendimento em zonas de produtividade no talhão Lagoa, 132 ha, segundo o critério proposto por Molin (2002).

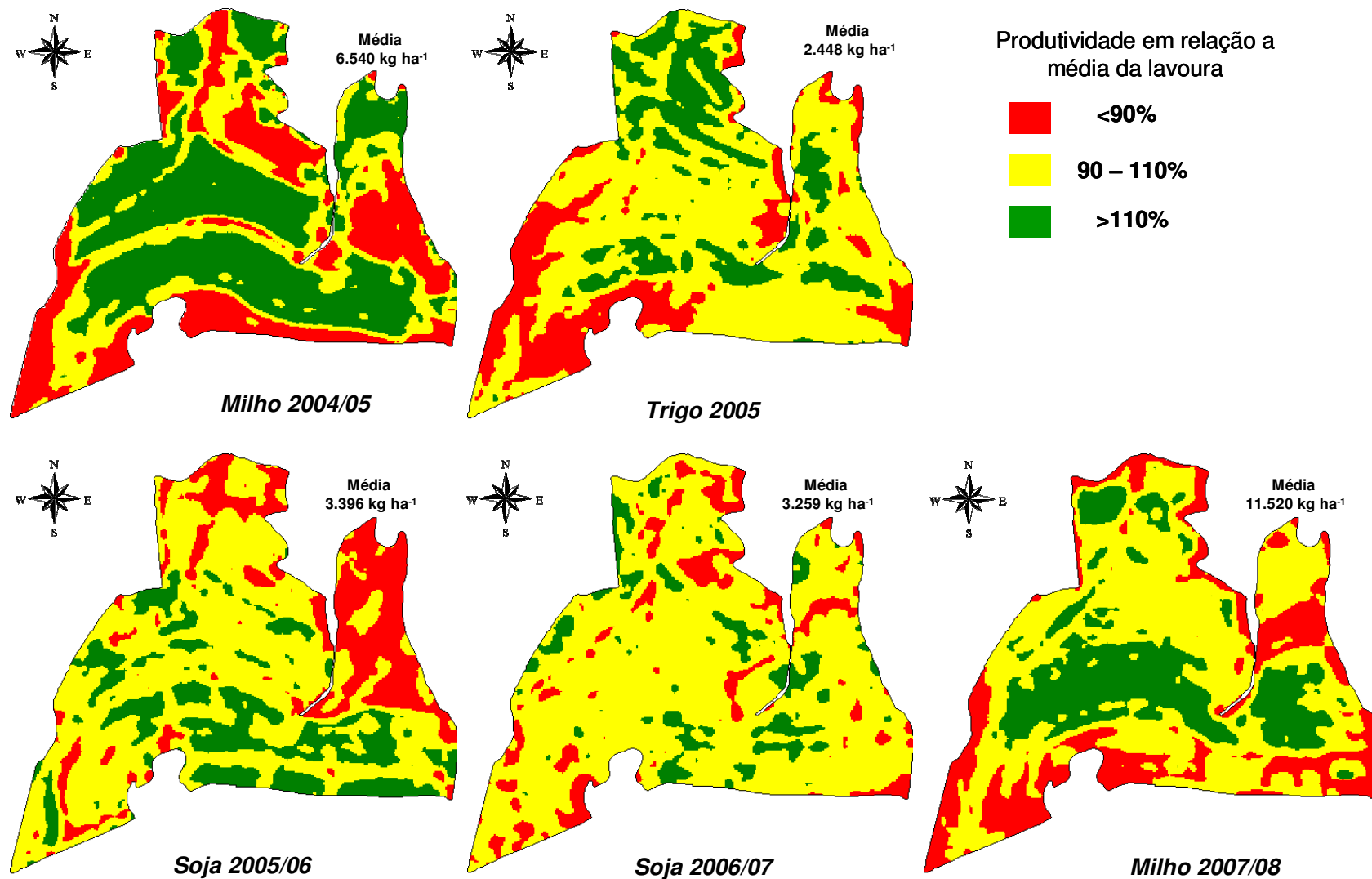


Figura 7 - Distribuição do rendimento em zonas de produtividade no talhão Lagoa, 132 ha, segundo a classificação proposta por Shiratsuchi et al, (2005)

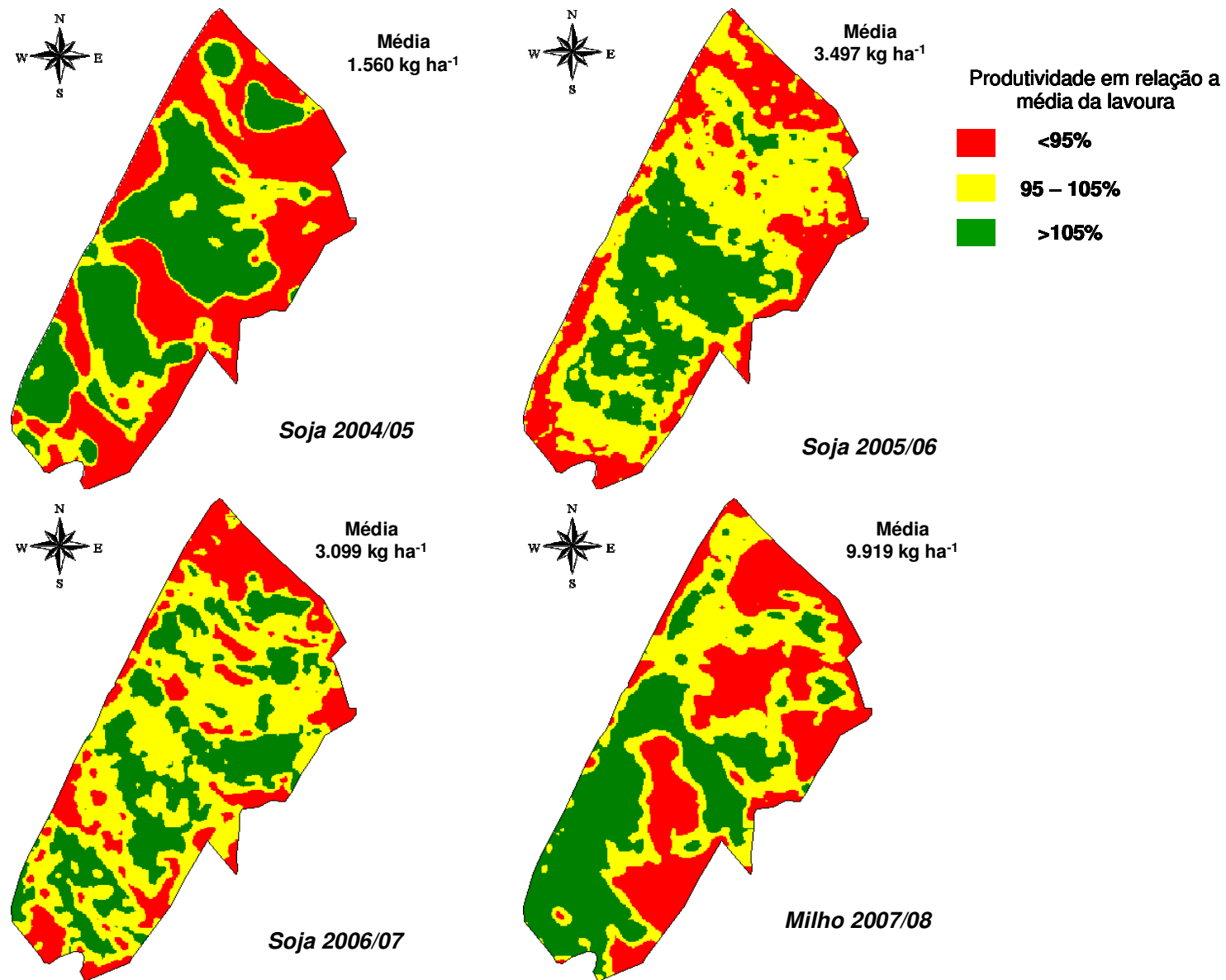


Figura 8 - Distribuição do rendimento em zonas de produtividade conforme a metodologia proposta por Molin (2002), no talhão Schmidt 125 ha.

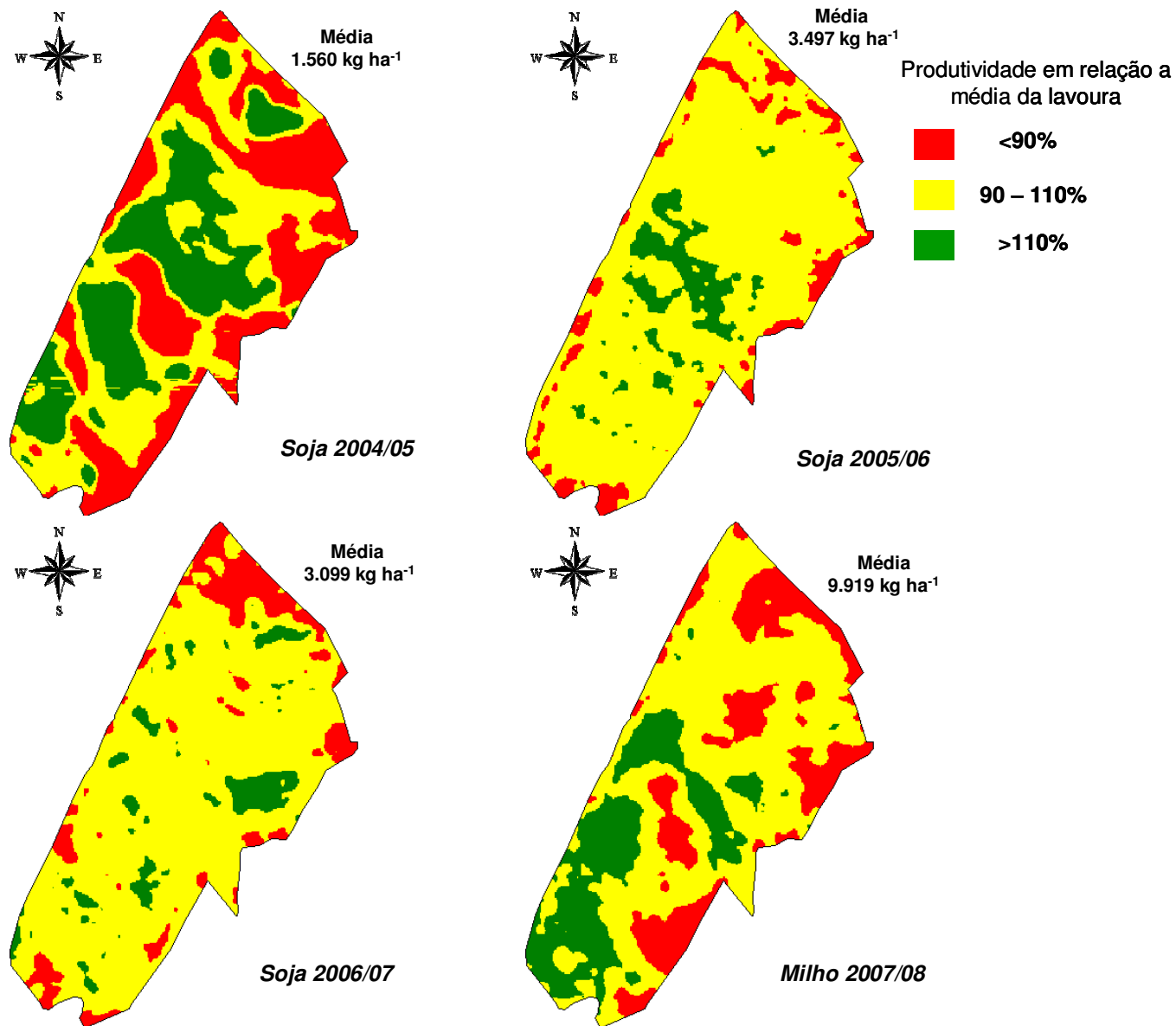
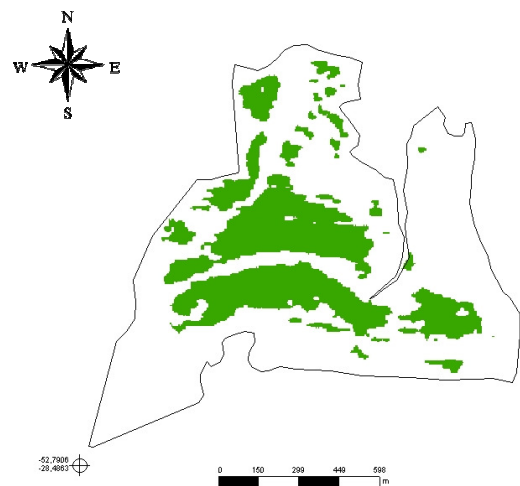


Figura 9 - Distribuição do rendimento em zonas de produtividade conforme Shiratsuchi et al. (2005) no talhão Schmidt 125 ha.

A distribuição da produtividade, ao longo de 5 safras agrícolas, permitiu que fosse construído um mapa de tendência no que diz respeito ao potencial produtivo de uma área. Essa metodologia reforça as conclusões propostas por Molin (2002) de que a análise espacial e temporal dos mapas de produtividade, juntamente com critérios de agrupamentos considerados adequados, podem contribuir para o manejo localizado de intervenções, mais precisamente. Dessa forma, pode-se observar na figura 9 que houve uma definição de zonas de potencial produtivo predominantemente em 3 classes de distribuição da produtividade. Para a classe alta e consistente, a porcentagem da área chegou a 27% com aproximadamente 36 ha. A distribuição dessas células, como se pode observar na figura 9, está preferencialmente concentrada na parte central do talhão, indicando que essa parte é a mais produtiva e potencial a ser explorada. Já a zona de baixa e consistente foi encontrada em 29% da área, totalizando 38 ha. Nessa, a distribuição preferencial tendeu a concentrar-se nas bordas da lavoura, isso provavelmente por problemas de compactação, assoreamento devido à incorporação de novas áreas à parte maior, problemas referentes a antigas estradas, áreas com influência de antigas voçorocas oriundas ainda do sistema convencional. Na área considerada de média consistente, a quantidade representou 44%, totalizando 58 ha. Nessa, a localização não obedeceu a um critério específico de distribuição, não havendo uma continuidade considerável, porém definida ao longo de todo o talhão. Nesse caso, não houve produtividade inconsistente, havendo, nesse critério, um balizamento sobre as zonas potenciais de produtividade. Isso assegura que as variações da produtividade estão dentro dos limites estabelecidos e o manejo dos fatores, que influenciarão a produtividade, poderão ser melhor direcionados a partir desse momento.

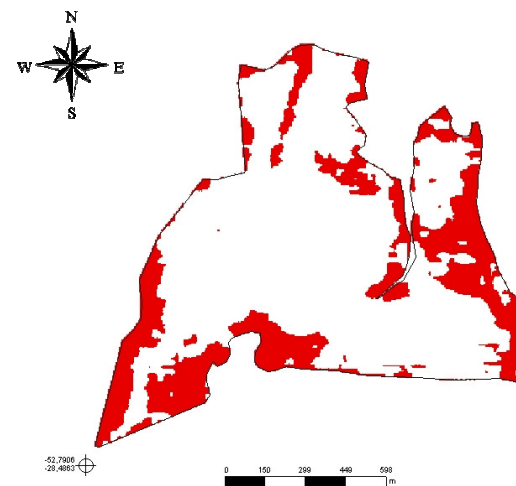
Quando foi utilizado o critério de correlacionar as zonas de potencial produtivo, tabela 5, com atributos de solo ao longo dos anos, não foram encontradas respostas significativas quanto à influência desses nas zonas potenciais. Contudo, quando foi avaliada a influência das produtividades das culturas ao longo dos anos, notou-se que o milho correlacionou-se com 0,79 na safra de 2004/05 e 0,75 na safra de 2007/08 e a soja correlacionou-se com 0,51 em 2005/06 e 0,30 2006/07, abaixo até mesmo do trigo 2005, que chegou a correlacionar-se com 0,60 da zona de potencial produtivo, Isso demonstra que as gramíneas são mais sensíveis às variações nos indicadores de potencial produtivo do solo e do ambiente.



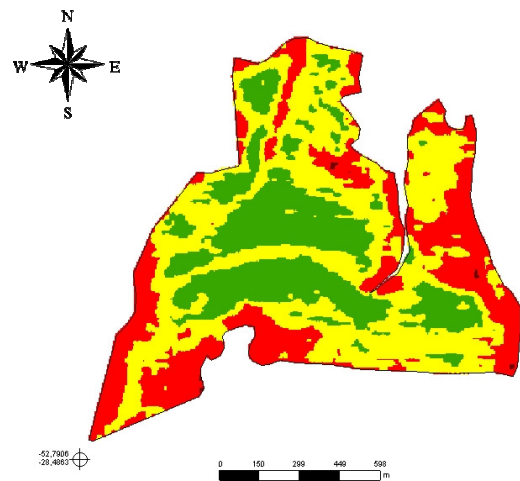
Zona alta consistente
Área: 36 ha – 27 %



Zona média consistente
Área: 58 ha – 44 %



Zona baixa consistente
Área: 38 ha – 29 %



- Zona baixa consistente - Área: 38 ha – 29 %**
- Zona média consistente - Área: 58 ha – 44 %**
- Zona alta consistente - Área: 36 ha – 27 %**

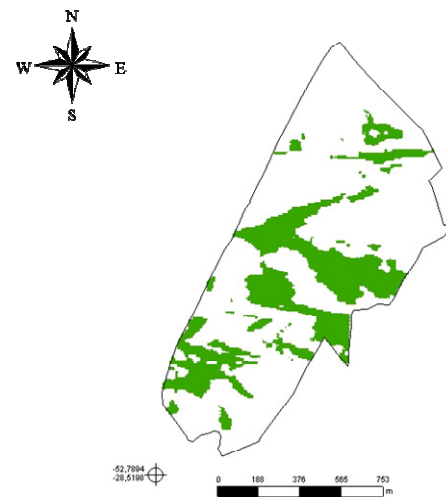
Figura 10 - Distribuição do rendimento em zonas de produtividade segundo a consistência ao longo de 5 safras, talhão Lagoa 132 ha.

Tabela 5 – Correlação das zonas de potencial produtivo (acumulado de 5 safras) com atributos de solo (3 amostragem de solo) e das zonas de potencial produtivo com as respectivas safras agrícolas no talhão Lagoa, 132 ha.

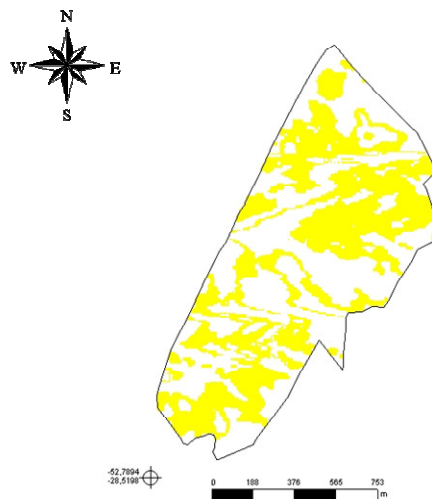
Correlação entre zonas de potencial produtivo (5 safras reativizadas) com atributos de solo				
Zonas de potencial produtivo (5 safras)				
	Amostragem 2003	Amostragem 2005	Amostragem 2006	Zonas de potencial produtivo (5 safras)
Altitude (m)	-	- 0,03	- 0,03	-
Argila (%)	-	0,06	0,06	-
Fósforo (mg dm ⁻³)	-0,11	0,01	0,13	-
Potássio (mg dm ⁻³)	- 0,09	0,09	0,11	-
CTC (cmol _c dm ⁻³)	-	- 0,04	- 0,18	-
Matéria Orgânica (%)	-	-0,04	- 0,25	-
pH H ₂ O (1:1)	-	-0,07	0,03	-
Índice SMP	-	- 0,05	0,15	-
Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	-	- 0,02	0,02	-
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	-	0,04	- 0,24	-
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	-	-0,06	- 0,16	-
Milho 2004/05	-	-	-	0,79
Trigo 2005	-	-	-	0,60
Soja 2005/06	-	-	-	0,51
Soja 2006/07	-	-	-	0,30
Milho 2007/08	-	-	-	0,75

A distribuição das zonas de potencial produtivo, analisadas a partir da sequência de mapas de produtividade, pode ser considerada uma ferramenta de manejo que deve ser associada a características de solo (LARK et al, 1999). Nesse sentido, avaliou-se, no talhão Schmidt, a distribuição da produtividade em zonas de potencial produtivo, mostrando que a produtividade concentrou-se, preferencialmente, em torno da média, com 46% da área representando 58 ha. Na zona de baixo potencial produtivo a distribuição atingiu 28%, chegando a 35 ha na área. Nota-se que a localização tende a concentrar-se nas extremidades do talhão, onde há presença de trânsito de máquinas agrícolas, preferencialmente na parte superior do mapa, figura 10, ocasionando principalmente problemas de compactação do solo. Também pode haver influência de antigas erosões e incorporações de parte de áreas no talhão maior. Já na zona de alto potencial, a distribuição atingiu 26% da área, totalizando 32 ha. Nesse caso, há uma certa continuidade da zona de alto potencial produtivo, diferentemente da zona de média, onde a distribuição tende a se estender ao longo de toda a área.

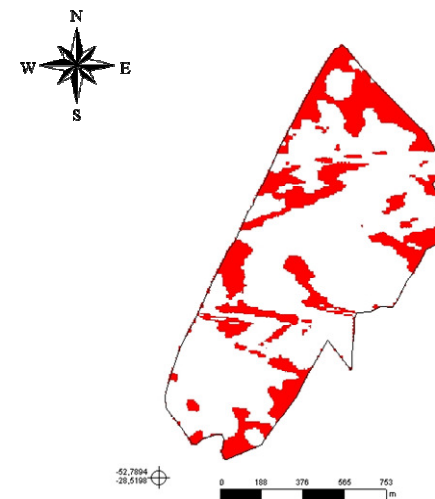
A correlação entre as zonas de potencial produtivo com as safras agrícolas mostrou que, no primeiro ano, devido à presença de estiagem, houve contribuição negativa com o estabelecimento do comportamento preferencial da produtividade. Isso reforça a importância do acúmulo de vários mapas de colheita para o estabelecimento dessas zonas potenciais, conforme ressalta Kahkural et al (1998). O que mostrou maior influência foi o milho, na safra agrícola 2007/08, com 0,74 de correlação. A soja apresentou valores, em anos normais de precipitação, de 0,61 e 0,54, conforme a tabela 6. Também se observa que a matéria orgânica mostrou-se como um indicador forte de definição de potencial produtivo, com 0,23 de correlação com as zonas potenciais, mostrando que os indicadores físicos e biológicos do solo têm influência significativa sobre a produtividade e que seu efeito tende a aparecer, mesmo em áreas com altos teores de nutrientes em geral.



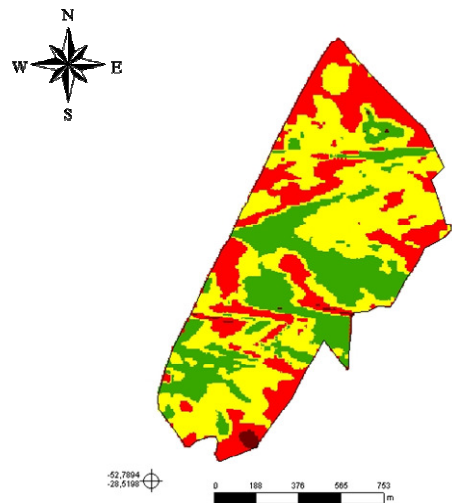
Zona alta consistente
Área: 32 ha – 26 %



Zona média consistente
Área: 58 ha – 46 %



Zona baixa consistente
Área: 35 ha – 28 %



- Zona baixa consistente - Área: 32 ha – 26 %**
- Zona média consistente - Área: 58 ha - 46 %**
- Zona alta consistente - Área: 35 ha – 28 %**

Figura 11 - Distribuição do rendimento em zonas de produtividade segundo a consistência em 4 safras, talhão Schmidt 125 ha.

Tabela 6 – Correlação das zonas de potencial produtivo (acumulado de 4 safras) com atributos de solo (2 amostragem de solo) e das zonas de potencial produtivo com as respectivas safras agrícolas no talhão Schmidt, 125 ha.

Correlação entre zonas de potencial produtivo(4 safras reativizadas) com atributos de solo			
Atributos de solo	Amostragem 2003	Amostragem 2005	Zonas de potencial produtivo (4 safras)
Altitude (m)	-	- 0,30	-
Argila (%)	-	0,06	-
Fósforo (mg dm ⁻³)	0,14	-0,07	-
Potássio (mg dm ⁻³)	0,20	0,01	-
CNS (cmol _c dm ⁻³)	-	0,24	-
Matéria Orgânica (%)	-	0,23	-
pH H ₂ O (1:1)	-	-0,02	-
Índice SMP	-	0,02	-
Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	-	0,0	-
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	-	0,31	-
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	-	0,22	-
Soja 2004/05	-	-	-0,02
Soja 2005/06	-	-	0,61
Soja 2006/07	-	-	0,54
Milho 2007/08	-	-	0,74

5.4 Conclusões

O mapeamento de rendimento, acumulado ao longo de várias safras agrícolas, permitiu que fossem definidas zonas de potencial produtivo estável nos dois talhões avaliados,

As correlações das zonas de potencial produtivo foram maiores com os mapas de colheita de milho, com 0,74 em 2007/08 para o talhão Schmidt e 0,79, em 2004/05, 0,75 em 2007/08 no talhão Lagoa,

A cultura do milho foi a que melhor se relacionou com atributos de solo, obtendo valores de 0,26 e 0,39 para o magnésio, na safra agrícola 2007/08 no talhão Lagoa e Schmidt respectivamente, tendo sido ressaltada a sua importância devido aos altos teores de potássio no solo.

5.5 Referências bibliográficas

BALASTREIRE, L. A. Estudo de caso, uma pesquisa brasileira em agricultura de precisão, In: SILVA, F. M.; BORGES, P. H. de M. **Mecanização e agricultura de precisão**. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p.203-32.

COELHO, A. M., DORAN, J. W., SCHEPERS, J. S. Irrigated corn yield as related to spatial variability of selected soil properties. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1998, St. Paul. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy, 1999. Part A, p.441-52.

CUNHA, G. R. **Informações meteorológicas de Passo Fundo, RS**. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/publicacoes/p_co.htm. Acesso em: novembro 2008.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

GIOTTO, E.; ROBAINA, A. D. **A Agricultura de Precisão com o Sistema CR Campeiro 6**. Manual do usuário. Santa Maria: UFSM/ Centro de Ciências Rurais/Laboratório de Geomática/ Departamento de Engenharia Rural, 2007. 319 p.

KUHAR, J. E.(ed) **The precision-farming guide for agriculturists**. Moline, 1997. 117 p.

LARK, R. M., STAFFORD, J. V., FROMENT, M. A. Exploratory analysis of yield maps of combinable crops. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1., 1997. Warwick. **Proceedings...** Oxford: BIOS Scientific Publishers, 1997b. p.887-94.

LARK, R. M. et al. Analysis of yield maps in support of field investigation of soil variation. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2., 1999. Odense. **Proceedings...** Silsoe: Sheffield, 1999. p.151-62.

MENEGATTI, L. A. A. **Metodologia para identificação, caracterização e remoção de erros em mapas de produtividade**. Piracicaba, 2002, 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 1 , p. 83-92, jan./abr., 2002.

SHIRATSUCHI, L. S. et al. Utilização de lógica nebulosa em dados de produtividade para delimitação de zonas de manejo. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 3., 2005, Sete Lagoas. **Anais...** Ste Lagoras: Embrapa Milho e Sorgo, 2005.

WILLIS, P. R., CARTER, P. G., JOHANNSEN, C. J. Assessing yield parameters by remote sensing techniques. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., 1998, St. Paul. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy, 1999. Part A, p.1465-73.