

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**RELAÇÕES ENTRE INDICADORES DE QUALIDADE
DO SOLO E A PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS EM
ÁREAS COM AGRICULTURA DE PRECISÃO**

TESE DE DOUTORADO

ANTÔNIO LUIS SANTI

**Santa Maria, RS, Brasil
2007**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**RELAÇÕES ENTRE INDICADORES DE QUALIDADE DO
SOLO E A PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS EM ÁREAS
COM AGRICULTURA DE PRECISÃO**

Por

Antônio Luis Santi

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de
Concentração Biodinâmica do Solo, do Centro de Ciências Rurais da
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para
obtenção do grau de
Doutor em Ciência do Solo.

Orientador: Profº Telmo Jorge Carneiro Amado

Santa Maria, RS, Brasil.

2007

S235r

Santi, Antônio Luis

Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão / por Antônio Luis Santi ; orientador Telmo Jorge Carneiro Amado. – Santa Maria, 2007. 175 f. ; il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2007.

1. Ciência do solo 2. Agricultura de precisão 3. Solo 4. Plantio direto 5. Georreferenciamento I. Amado, Telmo Jorge Carneiro, orient. II Título

CDU: 631.42:004.4

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB-10/1160
Biblioteca Setorial do CCR/UFSM

Todos os direitos autorais reservados a Antônio Luis Santi.
A reprodução parcial do texto é permitida desde que seja citada a fonte.
Endereço eletrônico: santi_pratica@yahoo.com.br

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a
Tese de Doutorado

**RELAÇÕES ENTRE INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO E A
PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS EM ÁREAS COM
AGRICULTURA DE PRECISÃO**

elaborada por
Antônio Luis Santi
Engenheiro Agrônomo, M.Sc.

como requisito parcial para obtenção do grau de

Doutor em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado

(Presidente/Orientador) – UFSM

Dr. João Herbert Moreira Viana – EMBRAPA

Dr. Glaucio Roloff – UFPR

Dr. Enio Giotto – UFSM

Dr. Flávio Luiz Foletto Eltz – UFSM

Santa Maria, fevereiro de 2007.

Lições para uma vida...

Como todo o amanhecer, os momentos não são eternos, mas, independente do quanto durou, o que importa é vislumbrar novamente um raio de sol, ou poder tocar a ingênua gota de orvalho.

Para aqueles que não se dão conta da simplicidade da vida, dos gestos, do sorriso e de tantas outras virtudes que habitam nossa alma, é difícil, e talvez inatingível minhas palavras, mas é simples para aqueles que educam com o coração e se esforçam para despertar em seus semelhantes à importância da inspiração para o exercício da crítica interna de maneira a viver voluntariamente emoções, exalando humanidade, compartilhando conhecimentos e instigando a criatividade, obscura em nossas mentes.

Essas razões, quando desacreditadas, traduzem-se na morte do espanto e da indignação, do inconformismo e da rebeldia. Deixamos de optar e isso, a meu ver, já é o suficiente para não mais compreendermos nosso próprio existir. Todo o carinho, respeito e por que não, um pouquinho de inveja daqueles que são de fato mestres, em despertar a curiosidade, a ousadia, a luta, a autonomia, a espontaneidade e o que é o mais importante: a liberdade.

Engº Agrº Msc. Antônio Luis Santi

AGRADECIMENTOS

A ti Lisandra, minha esposa e eterna paixão, pela oportunidade de conviver desde a graduação, pelas reflexões que fizemos e pelos encantos e obstáculos que vislumbramos e superamos juntos. Faltarão palavras para expressar minha gratidão para contigo.

A meus pais: Waldomiro Pigatto Santi e Iria Josefina Santi, exemplos de vida, simplicidade e determinação. Agricultores que nunca deixaram de respeitar a terra, a natureza e seus semelhantes. Obrigado por terem me educado numa estrutura familiar e no convívio carinhoso com meus irmãos: Inês, Cláudio, Cecília, Carlos, M

mas por terem contribuído para com minha vida em seu sentido amplo. Ficarão eternamente na lembrança as horas de mate, as mandiocadas, o carreteiro, as churrascadas, as “mentiras gaudérias”, a pinga e o desejo de um grupo sólido e unido aquém da Agricultura de Precisão.

A prestatividade e colaboração, na obtenção dos dados, proporcionada pelos produtores José Ari Sulzbach e seu filho Luciano Sulzbach (Granja São Bento – Palmeira das Missões/RS) e de Fernando Trennepohl (Fazenda Anna – Não-Me-Toque/RS)

Aos professores e funcionários dos colégios: Padre Roque Gonzáles (Trentin/Jaboticaba/RS) e Padre Francisco Goettler (Jaboticaba/RS) pelo ensino de primeiro e segundo grau, respectivamente e pelo orgulho de ter sido seu aluno.

Aos amigos Silvia, Vilson Junior, Luiz Marcos (Kirela), Adriano (Mingau), Saulo, Carol, Márcio Silveira e os “pias da vila” por terem dado força e estímulo para ver o “FINO” doutor.

A Deus, Pai de Bondade, pela vida, e pelo chamado a colaborar e a usufruir de sua obra.

A todos não citados, mas que de alguma maneira colaboraram nessa jornada, meus agradecimentos.

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

RELAÇÕES ENTRE INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO E A PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS EM ÁREAS COM AGRICULTURA DE PRECISÃO

AUTOR: ANTÔNIO LUIS SANTI

ORIENTADOR: TELMO JORGE CARNEIRO AMADO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 16 de fevereiro de 2007.

A determinação da variabilidade de rendimento de grãos torna-se uma ferramenta importante para a tomada de decisões no manejo e para possibilitar o conhecimento dos fatores que limitam este rendimento. Com as ferramentas da agricultura de precisão como os mapas de produtividade e a amostragem do solo utilizando o GPS manual são possíveis identificar a variabilidade espacial em condições de lavoura. Este estudo foi realizado com o objetivo de identificar e relacionar os atributos do solo com o rendimento das culturas. A pesquisa foi realizada em duas áreas comerciais sob o sistema de Plantio Direto, situado no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O solo é Latossolo e o clima Cfa úmido segundo a classificação de Koppen. Neste trabalho, inicialmente considerou-se duas áreas, uma com histórico de produtividade de seis safras e outra, com quatro envolvendo as culturas de soja, trigo e o milho. Esses mapas foram combinados para a definição de zonas de manejo. Três zonas foram definidas: baixo, médio e alto rendimento. A área com maior histórico de produtividade foi escolhida para o estudo mais detalhado. Atributos químicos do solo foram avaliados em 57 pontos georeferenciados com malha de 1,0 ha. Concomitantemente, em cada zona de manejo, cinco pontos foram utilizados para caracterizar a fertilidade de solo (P, K, Ca, Mg, saturação de bases, pH, MOS) e os indicadores físicos (infiltração de água, agregação do solo, densidade de partículas, compactação do solo). Na zona de alto rendimento (30% da área) foi possível alcançar rendimentos semelhantes aos obtidos em condições experimentais. A evolução da fertilidade do solo foi determinada pela amostragem temporal do solo. Com relação à área nativa e à floresta natural (tratamentos da referência) a área de lavoura mostrou níveis elevados de P e de K na camada de 0 a 0,05 m. Também foi possível constatar o movimento descendente de Ca^{+2} e Mg^{+2} , embora a calagem tenha sido aplicada na superfície. Com base nas quantidades de fertilizantes adicionadas e nas quantidades exportadas via colheita foi possível estimar a evolução dos teores de nutrientes no solo. Na camada de 0 a 0,10 m havia necessidade de aplicar 14 kg de $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ para aumentar 1 mg dm^{-3} de P disponível por Melich-1. Para K havia necessidade de aplicar 5,2 kg de $\text{K}_2\text{O} \text{ ha}^{-1}$ para aumentar 1 mg dm^{-3} de K disponível por Melich-1. Houve uma relação entre o mapa da eficiência do uso de nutriente, o mapa de infiltração de água e o mapa do rendimento. A infiltração de água foi o indicador do solo que explicou a porcentagem mais elevada da variabilidade do rendimento, seguido pelos macroagregados ($> 4.76 \text{ mm}$), DMG, densidade de partículas, resistência do solo ao desenvolvimento radicular e microporosidade. No geral os indicadores da fertilidade de solo estavam em níveis elevados e, conseqüentemente, explicou em baixa porcentagem a variabilidade do rendimento. As ferramentas da agricultura de precisão foram eficientes para estabelecer as relações entre os indicadores de qualidade do solo e os rendimentos da colheita.

ABSTRACT

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

IMPROVEMENT OF THE HANDLING OF THE GROUND USING THE TOOLS OF THE PRECISION AGRICULTURE

AUTHOR: Antônio Luis Santi

ADVISER: Telmo Jorge Carneiro Amado

Place and Date: Santa Maria, february 16, 2007.

The estimative of yield variability is an important tool to soil management decisions and to investigate yield limiting factors. Tools of precision farming as yield mapping and soil sampling using GPS makes possible identify the spatial variability of the field. This study was carried out with the objective of identify the main relationship among soil indicators and yield crops. The research was carried out in two commercial farms under no-tillage system located in Rio Grande do Sul State, Brazil. The soil is Oxisol and the weather cfa wet following Koppen classification. In this work six yield mapping of soybean, wheat and maize were merged to allow the definition of management zones. Three zones were classified as low, medium and high yield. In each zone 5 points were located and soil fertility (P, K, Ca, Mg, basis saturation, pH, SOM) and soil physic indicators (water infiltration, soil aggregation, bulk density, soil compaction) were investigated. The high yield zone, which had around 30% of total area, and the yield achieved was close to obtained in research plots. The soil fertility evolution was determined by temporal soil sampling in a 1 ha grid. In relation to native grass and natural forest (reference treatments) the cropland showed high levels of P and K in 0 to 0.05 m. Also, the downward movement of Ca^{+2} and Mg^{+2} were observed in cropland, even with surface broadcast lime. The amount of fertilizer input and nutrient harvest removed allow to estimate the soil fertility evolution. In 0 to 0.10 m there was necessary apply 14 kg of $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ to increase 1 mg dm^{-3} of P available by Melich-1. For K there was necessary applying 5.2 kg de $\text{K}_2\text{O ha}^{-1}$ to increase 1 mg dm^{-3} of K available by Melich-1. There was a close relationship among nutrient use efficiency map, water infiltration map and yield map. The water infiltration was the soil indicator that explains the higher percentage of yield variability. Following by the macroaggregates ($> 4.76 \text{ mm}$), GMD, bulk density, soil resistance and microporosity. In general the soil fertility was high and therefore the relationship with yield variability was low. The precision farm tools were efficient to establish the relationship between soil indicators and crop yields.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1 Históricos de manejo empregados nas áreas de estudo	27
TABELA 1.2 Produtividade das culturas em duas áreas manejadas com técnicas de agricultura de precisão	34
TABELA 1.3 Correlação (r^2) entre os dados de produtividade nas áreas de Palmeira das Missões e de Não-Me-Toque (RS)	47
TABELA 2.1 Balanço das adições de fertilizantes e exportações de fósforo e potássio em três zonas potenciais produtivas. Palmeira das Missões (RS)	63
TABELA 2.2 Médias dos atributos do solo em condições de mata, campo nativo e lavoura (2002 e 2004) - Palmeira das Missões (RS)	65
TABELA 2.3 Estatística descritiva das propriedades químicas analisadas, Palmeira das Missões (RS) – 2002	68
TABELA 2.4 Estatística descritiva das propriedades químicas analisadas, Palmeira das Missões (RS) – 2004	69
TABELA 2.5 Situação da área referente aos valores de pH em água, cálcio e magnésio no solo em relação a classificação da Comissão...(2004) – Palmeira das Missões/RS	75
TABELA 2.6 Situação da área referente aos teores de fósforo e de potássio em relação a classificação da Comissão...(2004) – Palmeira das Missões/RS	79
TABELA 2.7 Evolução dos teores de fósforo e potássio em três zonas potenciais produtivas, Palmeira das Missões (RS)	81
TABELA 2.8 Quantidade de P_2O_5 e de K_2O (descontando as exportações) para elevar 1 mg dm^{-3} de fósforo e potássio em três zonas de manejo e quatro profundidades de amostragem, Palmeira das Missões (RS)	85
TABELA 3.1 Teor de argila do solo (%) em cada ponto experimental	101
TABELA 3.2 Observações, durante as avaliações de campo, quanto à	

praticidade dos métodos utilizados para determinação da permeabilidade em duas áreas de lavoura	110
TABELA 4.1 Histórico de manejo empregado nas áreas de estudo em Palmeira das Missões e de Não-Me-Toque, RS	127
TABELA 4.2 Teor de argila e MOS nos pontos amostrados nas áreas de Palmeira das Missões e Não-Me-Toque (RS)	132
TABELA 4.3 Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) em três zonas potenciais produtivas (alta, média e baixa produtividade) em duas áreas de lavoura do RS	144
TABELA 5.1 Produtividade de grãos em cada uma das seis safras e produção	

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 Detalhe e componentes dos sensores de rendimento utilizados para a obtenção dos dados de rendimento na área de Não-Me-Toque e na área de Palmeira das Missões, adaptado de material técnico AGCO do Brasil	28
FIGURA 1.2 Grades com células de 17m X 17m utilizada para o cálculo médio pontual da produtividade. Área de Não-Me-Toque e de Palmeira das Missões	29
FIGURA 1.3 Leituras realizadas por um sensor de rendimento do tipo Micro Trak e respectivo erro de tempo de enchimento da máquina – Milho safra 2002/03	30
FIGURA 1.4 Pontos repetidos com as mesmas coordenadas e valores de produtividade	31
FIGURA 1.5 Produtividade improvável e muito elevada	32
FIGURA 1.6 Produtividade da cultura do milho, safra 2002/03, sem e com a remoção dos erros acumulados nos arquivos de dados	33
FIGURA 1.7 Espacialização horizontal dos pontos de colheita após a filtragem dos dados das culturas do milho, da soja e do trigo- Não-Me-toque/RS	35
FIGURA 1.8 Espacialização horizontal dos pontos de colheita após a filtragem dos dados da cultura da soja - Palmeira das Missões/RS	36
FIGURA 1.9 Espacialização horizontal dos pontos de colheita após a filtragem dos dados das culturas do milho e do trigo - Palmeira das Missões/RS	37
FIGURA 1.10 Descrição das precipitações ocorridas na área de Palmeira das Missões durante o período experimental (Fonte: Produtor)	39
FIGURA 1.11 Variabilidade horizontal da produtividade das culturas da soja (três safras), do milho (duas safras) e do trigo (uma safra) em relação à média da lavoura, na área de Palmeira das Missões - RS	42
FIGURA 1.12 Verticalização da produtividade das culturas da soja (três safras), do milho (duas safras) e do trigo (uma safra) em relação à média da lavoura, na	

área de Palmeira das Missões - RS	44
FIGURA 1.13 Variabilidade horizontal da produtividade das culturas do milho (duas safras), da soja (uma safra) e do trigo (uma safra), em relação a média da lavoura, na área de Não-Me-Toque - RS	45
FIGURA 1.14 Verticalização da produtividade das culturas do milho (duas safras), da soja (uma safra) e do trigo (uma safra) em relação a média da lavoura, na área de Não-Me-Toque - RS	46
FIGURA 1.15 Variabilidade horizontal temporal e verticalização da produtividade em relação a média da lavoura, segundo a metodologia proposta por Molin (2002) e considerando a sobreposição de seis mapas para a área de Palmeira das Missões e quatro mapas para a área de Não-Me-Toque – RS	49
FIGURA 1.16 Espacialização horizontal e verticalização da produtividade em relação a média da lavoura, segundo a metodologia proposta por Shiratsuchi et al. (2005) e considerando a sobreposição de seis mapas para a área de Palmeira das Missões e quatro mapas para a área de Não-Me-Toque – RS	51
FIGURA 1.17 Produção acumulada de grãos em três zonas potenciais produtivas na safra de soja 2000/01; safras de soja 2000/01 + milho 2001/02; safras de soja 2000/01 + milho 2001/02 + soja 2002/03; safras de soja 2000/01 + milho 2001/02 + soja 2002/03 + trigo 2003; safras de soja 2000/01 + milho 2001/02 + soja 2002/03 + trigo 2003 + soja 2003/04 e safras de soja 2000/01 + milho 2001/02 + soja 2002/03 + trigo 2003 + soja 2003/04 + milho 2004/05 – Teste T 5% de probabilidade	53
FIGURA 2.1 Zonas de potencial produtivo utilizada na definição das doses variadas, Palmeira das Missões (RS)	61
FIGURA 2.2 Feição geral da área com os pontos de amostragem de solo e da forma de coleta das amostras, Palmeira das Missões (RS).....	62
FIGURA 2.3 Distribuição espacial horizontal e vertical dos teores de argila no solo em três profundidades de amostragem - Palmeira das Missões (RS)	71
FIGURA 2.4 Distribuição espacial horizontal e vertical do pH em água do solo em três profundidades e dois anos de amostragem - Palmeira das Missões (RS) ...	72
FIGURA 2.5 Distribuição espacial horizontal e vertical dos teores de cálcio no solo em três profundidades amostragem, coleta de 2002 - Palmeira das Missões (RS)	73
FIGURA 2.6 Distribuição espacial horizontal e vertical dos teores de magnésio no solo em três profundidades de amostragem, coleta de 2002 - Palmeira das Missões (RS)	74
FIGURA 2.7 Distribuição espacial horizontal e vertical dos teores de fósforo no solo em três profundidades e dois anos de amostragem - Palmeira das Missões	

(RS)	77
FIGURA 2.8 Distribuição espacial horizontal e vertical dos teores de potássio no solo em três profundidades e dois anos de amostragem - Palmeira das Missões (RS)	78
FIGURA 2.9 Distribuição espacial horizontal e vertical dos teores de matéria orgânica no solo quando da utilização dos intervalos de classe propostos pela Comissão...,2004 e de uma modificação nas classes - Palmeira das Missões (RS).	83
FIGURA 2.10 Distribuição espacial horizontal e vertical da capacidade de troca de cátions (CTC efetiva) no solo em três profundidades, amostragem de 2002 - Palmeira das Missões (RS)	84
FIGURA 2.11 Relação entre kg produzido de grãos por kg aplicado de P ₂ O ₅ e K ₂ O para as culturas do milho, trigo e soja - Palmeira das Missões (RS)	86
FIGURA 2.12 Eficiência relativizada (sobreposição dos mapas das culturas do milho, trigo e soja) da relação entre kg aplicado de P ₂ O ₅ e K ₂ O por kg produzido de grãos - Palmeira das Missões (RS)	87
FIGURA 2.13 Relação entre a eficiência relativa de utilização de P ₂ O ₅ e K ₂ O - Palmeira das Missões (RS)	88
FIGURA 2.14 Relação entre a eficiência relativa de utilização de P ₂ O ₅ e K ₂ O em três zonas de manejo- Palmeira das Missões (RS)	89
FIGURA 3.1 Vista dos mapas de produtividade sobrepostos e dos locais das avaliações nas áreas de Não-Me-Toque e de Palmeira das Missões	98
FIGURA 3.2 Vista dos Infiltrômetros “Jari Grande”, Soil Quality Test Kit Guide/USAD-ARS e do Cornell Sprinkle Infiltrometer, utilizados nas avaliações de campo	102
FIGURA 3.3 Taxa de infiltração instantânea de água no solo obtida a partir dos métodos do Infiltrômetro Jari Grande e do Cornell Sprinkle Infiltrometer, em zonas com diferentes potenciais produtivos, na área de Palmeira das Missões - novembro de 2005	104
FIGURA 3.4 Taxa de infiltração instantânea de água no solo obtida a partir dos métodos do Infiltrômetro Jari Grande e do Cornell Sprinkle Infiltrometer, em zonas com diferentes potenciais produtivos, na área de Não-Me-Toque - novembro de 2005	105
FIGURA 3.5 Taxa de infiltração acumulada de água no solo obtida a partir dos métodos do Infiltrômetro Jari Grande e do Cornell Sprinkle Infiltrometer, em zonas com diferentes potenciais produtivos, na área de Palmeira das Missões - novembro de 2005	107
FIGURA 3.6 Taxa de infiltração acumulada de água no solo obtida a partir dos	

métodos do Infiltrômetro Jari Grande e do Cornell Sprinkle Infiltrômetro, em zonas com diferentes potenciais produtivos, na área de Não-Me-Toque - novembro de 2005	108
FIGURA 3.7 Infiltração de água no solo, em três zonas potenciais produtivas, obtida a partir do método do Soil Quality Test Kit Guide/USAD-ARS, em situação de campo, em duas áreas de lavoura – 2005. Teste T (P = 5%)	109
FIGURA 3.8 Precipitação, escoamento superficial e infiltração de água no solo, determinada pelo método de Cornell Sprinkle Infiltrômetro – Palmeira das Missões, 2005	111
FIGURA 3.9 Precipitação, escoamento superficial e infiltração de água no solo, determinada pelo método de Cornell Sprinkle Infiltrômetro – Não-Me-Toque, 2005	112
FIGURA 3.10 Taxa de infiltração instantânea de água no solo e taxa de infiltração acumulada de água no solo numa zona de alta produtividade, numa zona de baixa produtividade e quando da presença de galerias de corós (<i>Diloboderus abderus</i>), Palmeira das Missões – RS, 2005	114
FIGURA 3.11 Presença de poros biológicos constatados durante as avaliações de campo, gerados pela ação de organismos como minhocas e corós. Percepção do favorecimento dessas galerias para com o transporte de nutrientes e matéria orgânica no perfil do solo, infiltração de água no solo e o crescimento radicular ..	115
FIGURA 3.12 Eficiência do uso da água em cada safra e cultura – Palmeira das Missões/RS	117
FIGURA 3.13 Eficiência relativizada em relação a média da lavoura quanto o uso da água para a cultura da soja (sobreposição de três safras) para a cultura do milho (duas safras), da cultura do trigo (uma safra) e para a área geral (sobreposição de seis safras)	118
FIGURA 4.1 Croqui da área de Palmeira das Missões com os 58 pontos de coleta georreferenciados	127
FIGURA 4.2 Detalhe do aparelho de Yoder adaptado com o conjunto de peneiras utilizado para o tamizamento e a separação dos agregados em classes	128
FIGURA 4.3 Vista dos mapas de produtividade sobrepostos e dos pontos amostrais para avaliações físicas do solo	129
FIGURA 4.4 Detalhe da coleta das amostras indeformadas de solo, nas três profundidades pré-definidas	130
FIGURA 4.5 Distribuição de agregados estáveis em água em classes de tamanho, Palmeira das Missões (RS) – 2002. Valores seguidos pela mesma letra dentro de cada classe, não diferem significativamente pelo Teste - T a 5%	133

FIGURA 4.6 Distribuição de agregados estáveis em água em classes de tamanho nas camadas de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm em três zonas de rendimento, Palmeira das Missões (RS) – 2005. Valores seguidos pela mesma letra dentro de cada classe, não diferem significativamente pelo Teste - T a 5%	134
FIGURA 4.7 Distribuição de agregados estáveis em água em classes de tamanho nas camadas de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm em três áreas potenciais produtivas, Não-Me-Toque (RS) – 2005. Valores seguidos pela mesma letra dentro de cada classe, não diferem significativamente pelo Teste - T a 5%	135
FIGURA 4.8 Evolução do estado de agregação do solo na camada de 0 a 0,05 m, numa área de alta produtividade, média produtividade e baixa produtividade comparado ao seu referencial (mata e campo nativo), Palmeira das Missões (RS)	137
FIGURA 4.9 Diâmetro Médio Geométrico na camada 0 – 0,05 m na área de Palmeira das Missões e de Não-Me-Toque (RS) – 2005. Valores seguidos pela mesma letra minúscula ou maiúscula, não diferem significativamente pelo Teste - T a 5% (duas amostras presumindo variâncias equivalentes)	138
FIGURA 4.10 Relação entre os agregados na classe maior que 4,76 mm e o DMG – Palmeira das Missões, 2002 (** significativo pelo Teste T a 1% de probabilidade)	139
FIGURA 4.11 Distribuição horizontal do DMG e das classes de agregados na camada de 0 a 0,05 m, Palmeira das Missões (RS) – 2002	140
FIGURA 4.12 Variação da resistência do solo com a profundidade, em três zonas potenciais produtivas em Palmeira das Missões e Não-Me-Toque	145
FIGURA 5.1 Vista do contorno da área estudada e detalhe dos locais de avaliação em cada uma das zonas de manejo. Palmeira das Missões/RS	153
FIGURA 5.2 Distribuição da chuva no período entre a semeadura e a colheita das culturas de verão na área de estudo – Palmeira das Missões/RS	157
FIGURA 5.3 Correlação entre a infiltração de água no solo, determinada pelo método “Jarí Grande” e do “Cornell Sprinkle Infiltrometer” e o rendimento relativo das culturas (seis mapas sobrepostos) – Palmeira das Missões/RS	162
FIGURA 5.4 Relação entre a taxa de infiltração de água no solo e o rendimento relativo da cultura da soja em um ano de adequada disponibilidade hídrica, safra 2002/03 e de baixa disponibilidade hídrica, safra 2003/04 determinada pelo método “Jarí Grande” e do “Cornell Sprinkle Infiltrometer” – Palmeira das Missões/RS	164
FIGURA 5.5 Relação entre a taxa de infiltração de água no solo e o rendimento relativo da cultura do milho em um ano de boa disponibilidade hídrica, safra 2001/02 e de baixa disponibilidade hídrica, safra 2004/05 determinada pelo método “Jarí Grande” e do “Cornell Sprinkle Infiltrometer” – Palmeira das Missões/RS	165

FIGURA 5.6 Sistema de organização teórico proposto para a ordenação da taxa de infiltração de água no solo, determinada pelo método “Jarí Grande”, para a cultura da soja e a cultura do milho em um ano de boa disponibilidade hídrica, em cada zona de manejo – Palmeira das Missões/RS	167
FIGURA 5.7 Eficiência do uso da água, da adubação e produtividade (seis safras) na área experimental – Palmeira das Missões/RS	169
FIGURA 5.8 Relações entre a eficiência do uso da água, eficiência do uso dos fertilizantes e rendimento relativo das culturas (seis safras), Palmeira das Missões/RS	170

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	20
CAPÍTULO 1 – VARIABILIDADE DO RENDIMENTO DE CULTURAS DE GRÃOS EM DUAS LAVOURAS COMERCIAIS MANEJADAS COM TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO	20
1.1 Introdução	23
1.2 Material e Métodos.....	26
1.3 Resultados e Discussão.....	30
1.4 Conclusões	54
1.5 Agradecimentos	54
1.6 Referências Bibliográficas.....	55
CAPÍTULO 2 – EVOLUÇÃO TEMPORAL DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM UMA ÁREA DE LAVOURA COMERCIAL MANEJADA A TAXA VARIADA SIMPLIFICADA DE FERTILIZANTES E CORRETIVOS	58
2.1 Introdução.....	58
2.2 Material e Métodos.....	60
2.3 Resultados e Discussão.....	63
2.4 Conclusões.....	90
2.5 Agradecimentos.....	90
2.6 Referências Bibliográficas.....	91
CAPÍTULO 3 – RELAÇÃO DA PERMEABILIDADE DO SOLO COM O POTENCIAL PRODUTIVO EM ÁREAS MANEJADAS COM TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO	95
3.1 Introdução.....	95
3.2 Material e Métodos	97
3.3 Resultados e Discussão.....	103
3.4 Conclusões.....	119
3.5 Agradecimentos	120
3.6 Referências Bibliográficas.....	121
CAPÍTULO 4 – ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM LAVOURAS MANEJADAS SOB PLANTIO DIRETO E AGRICULTURA DE PRECISÃO	124
4.1 Introdução.....	124
4.2 Material e Métodos.....	126

4.3 Resultados e Discussão.....	131
4.4 Conclusões.....	146
4.5 Agradecimentos	146
4.6 Referências Bibliográficas.....	147

CAPÍTULO 5 – RELAÇÕES DE INDICADORES DA FERTILIDADE E DA QUALIDADE FÍSICA DO SOLO COM O POTENCIAL PRODUTIVO DE CULTURAS DE GRÃOS EM UMA ÁREA MANEJADA COM AGRICULTURA DE PRECISÃO

5.1 Introdução.....	151
5.2 Material e Métodos.....	152
5.3 Resultados e Discussão.....	154
5.4 Conclusões.....	171
5.5 Agradecimentos	171
5.6 Referências Bibliográficas.....	172

INTRODUÇÃO GERAL

Dentre os diversos adventos tecnológico que a agricultura tem vivenciado e incorporado no ciclo produtivo como um todo, nessas últimas décadas, talvez um dos aspectos mais marcantes fosse a redescoberta de alguns fundamentos ligados ao manejo e ao gerenciamento das áreas produtivas. Tais acontecimentos contemplam objetivos diversos como a racionalização do uso de insumos e um controle mais eficaz dos fatores de produção, a busca pela manutenção da qualidade dos recursos naturais, identificação das áreas produtivas e suas potencialidades (altos e baixos rendimentos).

Tradicionalmente, a agricultura é realizada baseando-se em médias em todos os seus seguimentos (produtividade, preços, teores de nutrientes no solo, entre outros atributos). No que se refere à produtividade das culturas, esta estratégia é muito comum. O que o produtor conhece, geralmente, é que obteve um determinado valor médio de produtividade em cada talhão, quando não em toda sua propriedade. A presença da variabilidade espacial mesmo quando detectada não é quantificada. Essa forma de se fazer agricultura não se sustenta mais quando a estratégia que se quer é ampliar o gerenciamento dos meios de produção, a racionalização do uso de insumos e, principalmente, a elevação da produtividade. Faz-se necessário o pleno conhecimento e quantificação da variabilidade da produtividade e suas razões, em cada talhão.

A expressão “Agricultura de Precisão” é um termo que tem se popularizado e vem sendo utilizado para definir o uso eficiente dos recursos através do gerenciamento localizado das unidades de manejo com base nas suas características específicas. O propósito é conhecer os diversos fatores que influenciam na expressão do potencial produtivo de uma cultura, como as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, como pressuposições básicas para entender e modelar a variabilidade espacial e temporal da produtividade e estabelecer um processo eficiente de gerenciamento localizado para as intervenções de manejo.

A variabilidade espacial do rendimento observada através do auxílio de mapas de produtividade pode ser reflexo de uma complexa interação de fatores como os ligados a aspectos fisiológicos da cultura, problemas referentes às intempéries climáticas ou mesmo de atributos referentes à qualidade do solo. A mudança gerada pela agricultura de precisão é a adequada quantificação da variabilidade e a combinação dos responsáveis pela variação no desenvolvimento e na produção das culturas.

Se os problemas básicos de manejo já estejam aparentemente solucionados e a área ainda expressa variabilidade há necessidade de se partir para um estudo mais detalhado envolvendo os atributos do solo. Uma das primeiras reflexões e investigações tem sido dada à heterogeneidade dos fatores de ordem química do solo. Para isso as amostragens são realizadas em malhas definidas a partir de programas de computador ou mesmo amostragens dirigidas (“inteligentes”) baseadas no conhecimento local como, por exemplo, a variabilidade da produtividade. Seguindo esse princípio de manejo pode-se realocar os fertilizantes e corretivos na área. Neste caso, a distribuição dos insumos pode ser realizada por zonas de manejo ou por zona de aplicação, uma alternativa simples, ou auxiliada pelas várias opções de equipamentos com sensores e atuadores capazes de executar o trabalho em taxa variada plena (variação das doses de acordo com as exigências espaciais da área contidas em um mapa digital transposto ao controlador do equipamento).

Quando a questão da fertilidade já estiver resolvida e os teores de nutrientes já atingiram níveis elevados ainda pode ocorrer variabilidade nas áreas. Neste caso, novos atributos do solo devem ser investigados como a qualidade física do solo. Como, no geral, a coleta dessas informações é mais trabalhosa do que as determinações químicas amostragens dirigidas ou em zonas de manejo (alta e baixa produtividade) são estratégias mais racionais. Embora a densidade, porosidade e agregação sejam atributos importantes, em condições de lavoura a resistência do solo à penetração e, em alguns casos, a infiltração de água no solo são variáveis mais utilizadas.

Dentre os atributos de ordem física, a taxa de infiltração de água, em relação aos demais atributos, é considerada como a mais importante, pois integra vários fatores como a distribuição do tamanho e continuidade de poros, poros biológicos. Em tese, alcançar elevados rendimentos é um desafio complexo que exige a otimização de atributos do solo que influenciam o desenvolvimento vegetal. A agricultura de precisão, nesse contexto, é uma moderna ferramenta que permite um elevado controle das intervenções de manejo e que está disponível aos agricultores competentes.

A experiência acumulada e apresentada neste trabalho evidenciou a existência de elevada variabilidade espacial e temporal no rendimento das culturas. Parte desta variabilidade foi explicada pela variabilidade de atributos químicos do solo, porém a utilização da taxa variada para aplicação de insumos foi uma estratégia eficiente para a elevação dos níveis de fertilidade do solo. A amostragem intensiva e georreferenciada do solo foram fundamentais neste processo de racionalização do uso de insumos. Os mapas de rendimento subsidiaram nas intervenções de manejo visando alcançar elevados rendimentos.

A definição de zonas de potencial de rendimento, com base em um conjunto de mapas de rendimento, permitiu concluir que a infiltração de água no solo foi um dos principais atributos físicos do solo que influenciou o rendimento das culturas. Neste caso, a qualidade dos indicadores físicos do solo mostrou-se como determinante da variação temporal do rendimento das culturas.

CAPÍTULO 1: VARIABILIDADE DO RENDIMENTO DE CULTURAS DE GRÃOS EM DUAS LAVOURAS COMERCIAIS MANEJADAS COM TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO

1.1 INTRODUÇÃO

A agricultura, nas últimas décadas, tem vivenciado diversos acontecimentos tecnológicos como, por exemplo, a mecanização de processos, a utilização de insumos químicos, o sistema de semeadura direta, a biotecnologia e, mais recentemente, ferramentas da agricultura de precisão (AP) como um instrumento gerencial. Nessa última, os aspectos mais marcantes foram a redescoberta de fundamentos ligados ao manejo e ao gerenciamento das áreas produtivas. Tais acontecimentos, por sua vez, contemplam objetivos diversos, como a racionalização do uso de insumos e um controle mais eficaz dos fatores de produção, a busca pela manutenção da qualidade dos recursos naturais, a identificação das áreas produtivas e de suas potencialidades, como os altos, médios e baixos rendimentos.

Um dos exemplos que se pode analisar é a evolução tecnológica transcorrida nas máquinas e equipamentos hoje disponíveis aos produtores. No processo de colheita de grãos, a tecnologia eletrônica embarcada proporcionou que algumas colhedoras pudessem ser equipadas com monitores capazes de auxiliar nas operações de colheita, fornecendo informações como: o nível de combustível, rotação de eixos, rotação do motor, sistema elétrico, perdas na caixa de peneiras e saca-palha. Essas máquinas também congregam ferramentas como sensores de perdas de grãos e rendimento de grãos, cartão PCMCIA para armazenamento de dados e Sistema de Posicionamento Global (GPS). Essas tecnologias proporcionaram uma ampliação na tomada de informações como o desempenho operacional das máquinas e a possibilidade de quantificação da produtividade e caracterização de sua variabilidade até então, em alguns casos conhecida, mas não possível de mensuração (Cugnasca & Saraiva, 2005).

A investigação dos limites de produtividade contribui para identificar as variáveis do ambiente responsáveis pelo desempenho final da cultura e ressaltar em que nível cada uma delas representa limitações à expressão máxima da produtividade (Barni et al., 1995). Nesse sentido, Argenta et al. (2003) ressaltaram que a determinação do potencial de rendimento de

grãos das culturas torna-se ferramenta importante para a tomada de decisões no manejo, por possibilitar a identificação dos fatores limitantes e subsidiar o dimensionamento dos impactos dos fatores restritivos ao rendimento e a definição de estratégias de como superá-los ou minimizá-los através do manejo adequado.

O mapa de produtividade, também denominado mapa de colheita é uma importante ferramenta da AP, pois auxilia na identificação e quantificação da variabilidade da produtividade das culturas, auxiliando nos processos investigativos na lavoura e no seu gerenciamento (Han et al., 1994). Autores como Queiroz et al. (2000) consideram que os mapas de produtividade das culturas podem ser utilizados como ponto de partida na averiguação das causas da variabilidade da produção nas lavouras, contribuindo para o entendimento do potencial de rendimento e o aprimoramento do manejo do solo na busca de altas produtividades às culturas.

Conceitualmente, Evans (1993) definiu o potencial de rendimento das culturas como o rendimento apresentado pelas mesmas quando cultivadas em ambiente ao qual está adaptado, sem limitações no suprimento de água e nutrientes, controle efetivo de insetos, doenças, plantas daninhas, excessos hídricos e de outros estresses bióticos e abióticos. O conhecimento da expressão do potencial de rendimento, em condições de lavoura, pode expressar o êxito ou as limitações das ações desenvolvidas, além de refletirem um passado recente, ou seja, o que já aconteceu na área, balizando novas ações para os próximos anos. Para Moore (1998) o mapa de produtividade é um dos métodos mais concisos para se estimar a heterogeneidade da área. Molin (2003) aponta como o ponto de partida que muitos usuários e pesquisadores devem tomar para evidenciar unidades de alta e baixa produtividade.

t = momento em que ocorre a leitura;

A partir do armazenamento automático dos dados no computador da colhedora, esses podem, posteriormente, ser transferidos para um microcomputador e, com o auxílio de um programa computacional específico, serem espacializados na forma de mapas e gráficos.

Como o armazenamento dos dados é realizado por sensores e medidores de produção e de área, a própria automação do processo pode proporcionar a coleta de dados irreais. Para uma correta interpretação é necessária sua identificação e remoção. Alguns dos erros mais comuns encontrados nos arquivos advindos do campo referem-se a dados coletados em condições estáticas (colhedora parada), erros de posicionamento, ausência de sensor de umidade e erros de leitura do sensor de fluxo de grãos (Menegatti, 2002); erros devidos à recirculação de grãos no mecanismo de trilha e retrilha, perdas de grãos pela colhedora, principalmente na plataforma (Blackmore & Marshall, 1996) e aqueles referentes à calibração do volume, largura incorreta de plataforma e tempo de enchimento da colhedora (Moore, 1998).

Os valores de produtividade armazenada antes de o sistema atingir 90% da produtividade máxima local definem o erro de tempo de início de processo e os valores armazenados durante o esvaziamento da colhedora são denominados de erro de tempo de fim de processo. Moore (1998) sugeriu quatro fases para caracterizar esse erro e Menegatti (2002) as descreve como: a primeira fase (I) representa o tempo que a máquina leva para atingir a cultura, a segunda fase (II) representa o tempo entre a máquina atingir a cultura e a primeira leitura do sensor de produtividade. A terceira fase (III) é o tempo que a máquina requer para entrar em regime de funcionamento normal (rápido aumento da produtividade) e na quarta fase (IV), quando a máquina entra em regime de operação normal. Erros dessa mesma natureza também podem ser concebidos no sentido contrário, isto é, o tempo de esvaziamento da colhedora.

Alguns desses erros sistemáticos podem ser eliminados através do auxílio de programas computacionais e outros não o são. Após a tomada de dados no campo, é importante, em cada arquivo de dados, observar e corrigir possíveis erros existentes. Sugestões, discussões e propostas mais detalhadas sobre essas questões são apresentadas por Moore (1998) e Menegatti (2002).

Uma vez feita a coleta dos dados e as respectivas filtragens necessárias, pode-se gerar mapas com as definições espaciais da expressão da produtividade na área. Em que pese isso, a definição de unidades de gerenciamento, considerando as particularidades diferenciadas e específicas de cada área, pode depender da integração de modelos descrevendo processos

contínuos entre o sistema solo e o ambiente ecológico (Sá, 2001). Ao interpretar um mapa de produtividade, com a finalidade do futuro gerenciamento do campo, devem-se levar em conta as causas consistentes da variabilidade (Camargo et al, 2004). A análise de uma seqüência de mapas de produtividade, nesse caso, pode ser uma forma de definir tais unidades de manejo em uma área e possibilitar a compreensão, o acompanhamento e a análise das possíveis causas

A escolha desses locais deu-se baseada na disponibilidade de máquinas e equipamentos preparados para operações em AP, visando o registro espacial de atributos de solo e planta e no histórico de adoção de tecnologias: a adubação química do solo, correção da acidez do solo, tratamento de sementes, estratégias de manejo baseadas em princípios da AP e de conservação do solo (Tabela 1.1).

Conforme Embrapa (1999) essa região situa-se na zona da escarpa arenito-basáltica do Planalto Meridional Brasileiro, sendo o solo classificado como um Latossolo Vermelho distrófico típico, com profundidade média de 1,5 metros e textura muito argilosa (> 60%).

Tabela 1.1 – Históricos de manejo empregados nas áreas de estudo.

ANOS AGRÍCOLAS					
PALMEIRA DAS MISSÕES/RS					
	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05
INVERNO	Aveia	Nabo	Trigo	Trigo	Consórcio*
		FORAGEIRO			
VERÃO	Soja	Milho	Soja	Soja	Milho
NÃO-ME-TOQUE/RS					
INVERNO	Aveia	Trigo	Aveia	Aveia	-
VERÃO	Milho	Soja	Soja	Milho	-

(*)Aveia + Nabo Forrageiro + Tremoço Azul

Em ambas as áreas, para a colheita georreferenciada dos dados, contou-se com o auxílio de duas colhedoras, de propriedade dos produtores, ambas da marca Massey Ferguson modelos MF34, equipadas com o Sistema Fieldstar de AP, desenvolvido pela empresa AGCO do Brasil. O sistema Fieldstar congrega um conjunto de ferramentas, como sensores de rendimento Micro-Trak (Figura 1.1), cartão para armazenamento de dados tipo PCMCIA e uma antena receptora de sinal GPS da marca Garmin®.

Foram coletados dados de produtividade georreferenciados desde a safra 2000/01. Na área de Palmeira das Missões, o produtor logrou êxito no mapeamento de todas as culturas de verão e uma safra de trigo, no inverno. Para a cultura do milho, safra 2004/05, houve perda de dados, durante a coleta de campo em uma parte da área. O mapa foi considerado nesse trabalho, mediante exclusão dessa área. Na área de Não-Me-Toque, houve problema no armazenamento dos dados da cultura da soja, safra 2003/04, não sendo incluído nesse trabalho.

Os medidores de produtividade utilizados na obtenção dos dados (Figura 1.1) são também conhecidos como sensores de rendimento do tipo Micro-Trak de duas hastes, aplicados às colhedoras com elevador de grãos estreito e de três hastes, aplicados às colhedoras com elevador de grãos largos. Medem a quantidade de grãos que passa pelo elevador de grãos limpos. O princípio de funcionamento desses sensores baseiam-se na frequência (em hertz) de deformação das hastes ligadas a uma célula de carga por ocasião do impacto do fluxo de grãos arremessados contra as hastes ao passar pelo elevador de grãos. A frequência de deformação é transformada em massa (kg ha^{-1} ou Mg ha^{-1}).

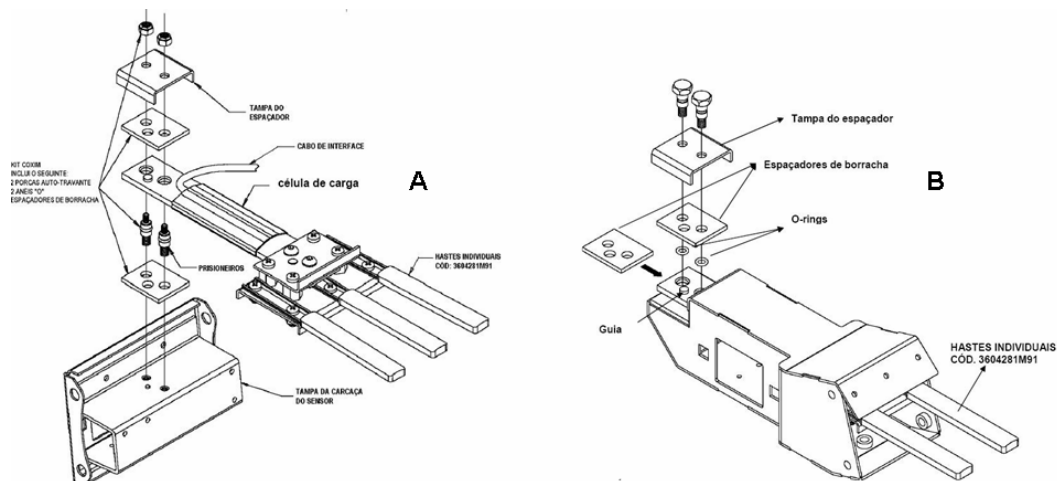


Figura 1.1 – Detalhe e componentes dos sensores de rendimento utilizados para a obtenção dos dados de rendimento na área de Não-Me-Toque (A) e na área de Palmeira das Missões (B), adaptado de material técnico AGCO do Brasil.

Após a colheita e armazenamento dos dados de produtividade, estes foram transferidos para um microcomputador auxiliado por uma leitora de cartão de dados modelo Fieldstar/Adtron/OmniDrive e pelo programa de Mapeamento de Produtividade Fieldstar (Fieldstar Yieldmapping System).

Os dados foram tabulados utilizando-se o programa Microsoft Office Excel 2003[®] e o programa CR-Campeiro5, desenvolvido pelo setor de Geomática da Universidade Federal de Santa Maria (Giotto et al., 2004) procurando eliminar, através de filtragens, os valores de produtividade discrepantes como os erros de posicionamento (coordenadas repetidas) e a presença de valores de produtividade improvável devido ao seu alto valor, quando comparado com os pontos seqüenciais. Os arquivos de produtividades vindos do campo foram reeditados procurando-se eliminando os pontos que estavam muito alto ou muito baixo (discrepantes) e não condizentes com o potencial produtivo da cultura em questão. Para auxiliar nessa definição foram realizadas diversas espacializações de pontos tidos como muito elevados ou

muito baixos na área. Quando esses valores eram isolados não representando uma tendência na área, eram descartados. Todos os valores eliminados seguiram as proposições de Moore (1998) e Menegatti (2002).

Após a eliminação de dados irreais, para o estudo da variabilidade espacial e temporal, três classes de produtividade foram consideradas, segundo os critérios propostos por Molin (2002). Os pontos com valores iguais ou superiores a 105% da média geral de produtividade da lavoura constituíram a classe de alta produtividade, os pontos com 95% a 105% da média constituíram a classe de média produtividade e os pontos com 95% ou menos que a média da lavoura, a classe de baixa produtividade. Em todos os mapas analisados, após a filtragem, o coeficiente de variação foi inferior a 30%. Segundo Molin (2002), esse critério pode auxiliar na delimitação de unidades de produtividade distintas, permitindo o zoneamento espacial das concentrações de pontos pertencentes à mesma classe.

Auxiliado pelo programa CR-Campeiro5, foram geradas grades com 1.871 quadrículas, para a área de Palmeira das Missões e 4.325 quadrículas, para a área de Não-Me-Toque. Cada quadrícula representou uma célula de 17x17m. Através de uma das ferramentas disponíveis no programa (análise por células) para cada ponto da grade foi gerada uma média percentual pontual, baseada nos pontos existentes num raio de 30 metros ao redor do ponto, em relação à média de produtividade obtida na safra na respectiva área (Figura 1.2). Isso permite relativizar a produtividade e comparar o potencial produtivo de diferentes culturas e anos. Todos os mapas de produtividade foram interpolados utilizando-se o interpolador inverso do quadrado da distância, uma ferramenta disponível no programa CR-Campeiro5. As correlações de Pearson foram obtidas com o auxílio do programa estatístico SOC (Storck & Lopes, 1998). As demais pressuposições seguiram a metodologia descrita por Molin (2002).

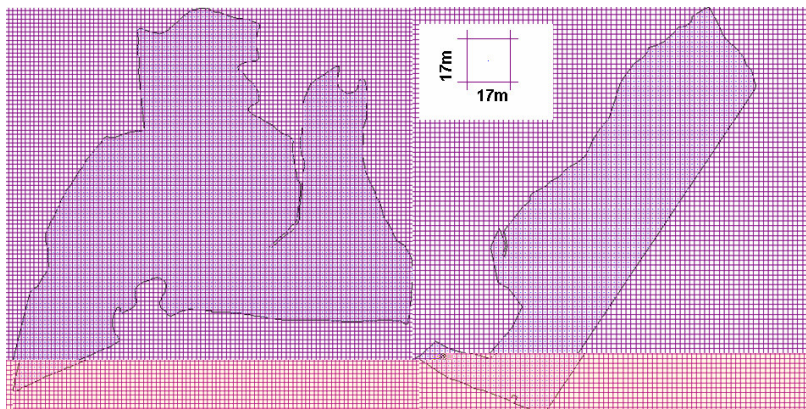


Figura 1.2 – Grades com células de 17m X 17m utilizada para o cálculo médio pontual da produtividade. Área de Não-Me-Toque (à esquerda) e de Palmeira das Missões (à direita).

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o processo de filtragem dos dados um dos erros mais comuns encontrados nesse trabalho foi a sensibilidade às variações naturais do monitor ou os valores de produtividade até atingir 90% da produtividade máxima local.

No gráfico da Figura 1.3 gerado a partir de uma seqüência de dados de um dos arquivos obtidos observa-se a presença das três fases descritas por Moore (1998). Os dados inerentes às fases II e III devem ser desprezados para que não se incorra em conclusões errôneas sobre a produtividade, pois esses dados caracterizam-se nos mapas por baixa produtividade, principalmente, nas cabeceiras dos talhões, ou onde a máquina fizer manobras para uma nova passada.

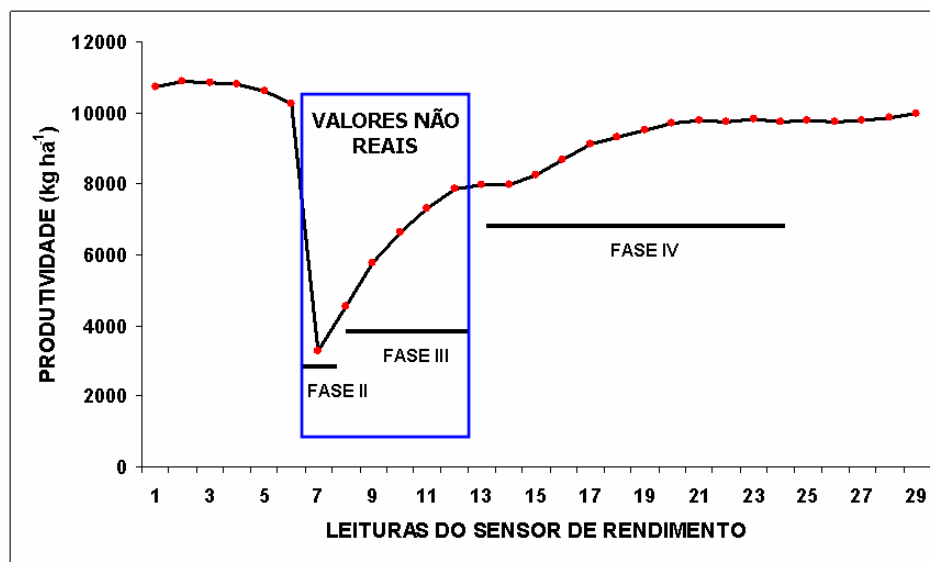


Figura 1.3 – Leituras realizadas por um sensor de rendimento do tipo Micro Trak e respectivo erro de tempo de enchimento da máquina – Milho safra 2002/03.

Quanto à forma de realizar a eliminação desses dados, Thylén et al. (1997) sugere como ideal a eliminação dos primeiros 40 segundos de cada passada. Para Moore (1998) um tempo de 36 segundos já seria suficiente para eliminar 100% do tempo de enchimento. Perceberam-se tendências de regularização nos dados coletados a partir das cinco primeiras leituras do sensor de rendimento a contar do início da fase II (Figura 1.3). Nesse trabalho, como nos arquivos obtidos do campo não se dispunha das informações de tempo, esse foi o critério de filtragem utilizado para a remoção desses dados.

Outro tipo de erro encontrado nos dados de campo foi a presença de pontos com coordenadas repetidas, ou seja, com distância nula (Figura 1.4). Esses pontos podem ser considerados como erro devido à própria natureza destrutiva da coleta de dados de produtividade. Por outro lado, como o relevo das áreas estudadas impõe uma determinada limitação na velocidade de colheita, a distância percorrida pela colhedora, dentro do intervalo de coleta de dados, também se torna pequena permanecendo dentro do círculo de erro provável dos GPSs utilizados nas colhedoras (Menegatti, 2002). Esse autor ainda reforça que essa ocorrência é comum devida à alta taxa de coleta de pontos associada aos pequenos erros de posicionamento da máquina, ou seja, muitos pontos são coletados num intervalo curto de tempo, intervalo provavelmente insuficiente para que o GPS detecte a mudança de posição da colhedora e informe ao sistema a nova posição diferente da anterior.

Outro tipo de erro encontrado foi a presença de valores de produtividade improváveis devido seu alto valor, quando comparado com os pontos seqüenciais (Figura 1.5). Em contra partida, não se observou dados nulos de produtividade indicando que, provavelmente, há no programa interno do monitor FieldStar®, um filtro que impede a coleta de valores nulos.

Foi verificada a presença de erros em todos os arquivos de produtividade estudados. As informações bases para o processo de filtragem e remoção dos erros encontrados seguiram as proposições de Moore (1998) e Menegatti (2002).

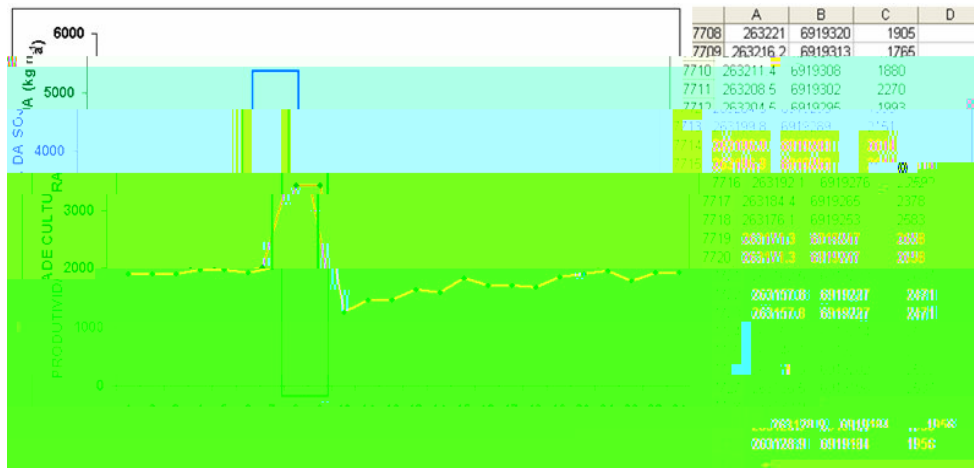


Figura 1.4 – Pontos repetidos com as mesmas coordenadas e valores de produtividade.

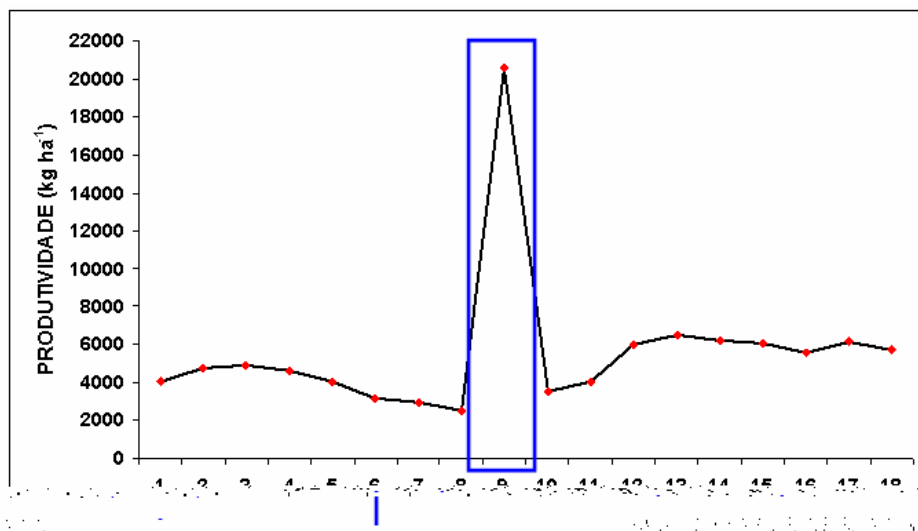


Figura 1.5 – Produtividade improvável e muito elevada.

Durante o processo de filtragem dos dados foram excluídos aproximadamente 8% dos dados obtidos durante a colheita. Inicialmente, esperava-se que a conformação dos mapas fosse significativamente alterada. No entanto, as mudanças foram geradas em pequenos pontos localizados nas extremidades da área (Figura 1.6), o que pode ser explicado por existirem em maior quantidade erros de tempo de enchimento da máquina por ocasião de manobras nas cabeceiras da lavoura. Menegatti (2002) ainda alerta que o grande número de pontos coletados pelo sistema aumenta a qualidade da informação, mesmo quando se elimina um percentual elevado de dados. Isso não justifica a ausência do uso de filtros para a elaboração de mapas de produtividade, uma vez que foram verificados nesse trabalho, e por Moore (1998) e Menegatti (2002) a existência de dados imprecisos nos arquivos oriundos do campo.

Nas duas áreas, mensurou-se a variabilidade espacial da produtividade das culturas, demonstradas pelas produtividades máximas, médias e mínimas (Tabela 1.2). Nessa análise tomou-se como referencial os pontos de colheita após exclusão, mediante filtragem, dos valores não condizentes com a realidade da lavoura, baseado nas metodologias descritas acima e em coerência com as avaliações de campo e acompanhamento da colheita.

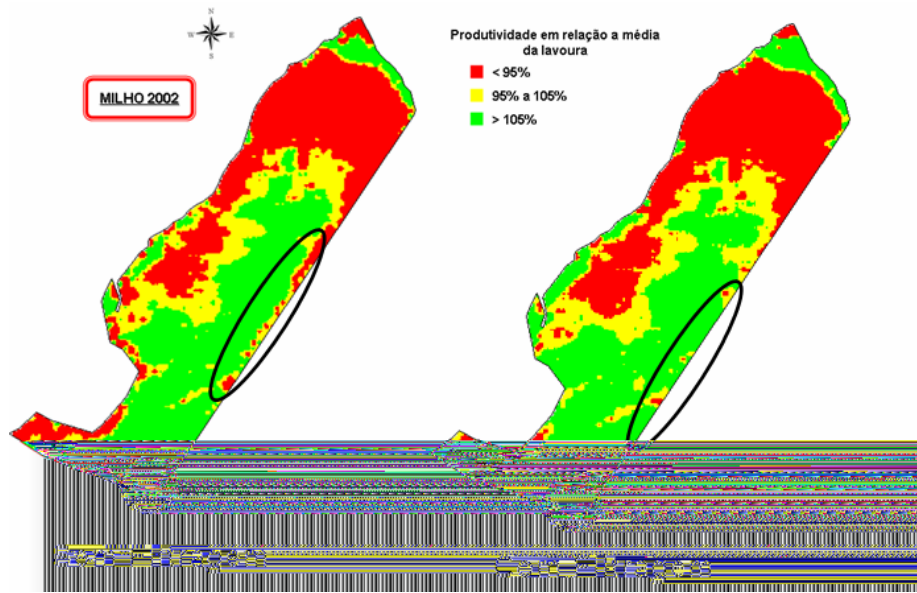


Figura 1.6 – Produtividade da cultura do milho, safra 2002/03, sem e com a remoção dos erros acumulados nos arquivos de dados.

Tabela 1.2 – Produtividade das culturas em duas áreas manejadas com técnicas de agricultura de precisão.

SAFRAS	Produtividade da lavoura			Estatística		
	N ^o de pontos Amostrais	(kg ha ⁻¹)			DP*	CV**
		Máxima	Média	Mínima		
Área de Não-Me-Toque (132 ha)						
Milho 2001/02	84.191	13.020	5.640	1.140	1.500	26,53
Soja 2002/03	52.180	5.220	3.720	1.080	840	21,74
Trigo 2003	51.307	5.580	2.700	540	720	14,74
Milho 2004/05	36.875	13.980	7.680	1.500	2.100	27,22
Área de Palmeira das Missões (57 ha)						
Soja 2000/01	22.871	4.860	3.180	1.980	480	16,20
Milho 2001/02	43.085	12.960	7.800	3.060	1.620	20,80
Soja 2002/03	9.250	4.980	3.240	1.800	660	20,62
Trigo 2003	10.355	5.520	3.540	960	660	18,18
Soja 2003/04	8.943	3.780	2.220	720	600	18,73
Milho 2004/05	28.999	12.960	6.000	1.600	1.620	27,21

* DP = Desvio Padrão; **CV = Coeficiente de Variação.

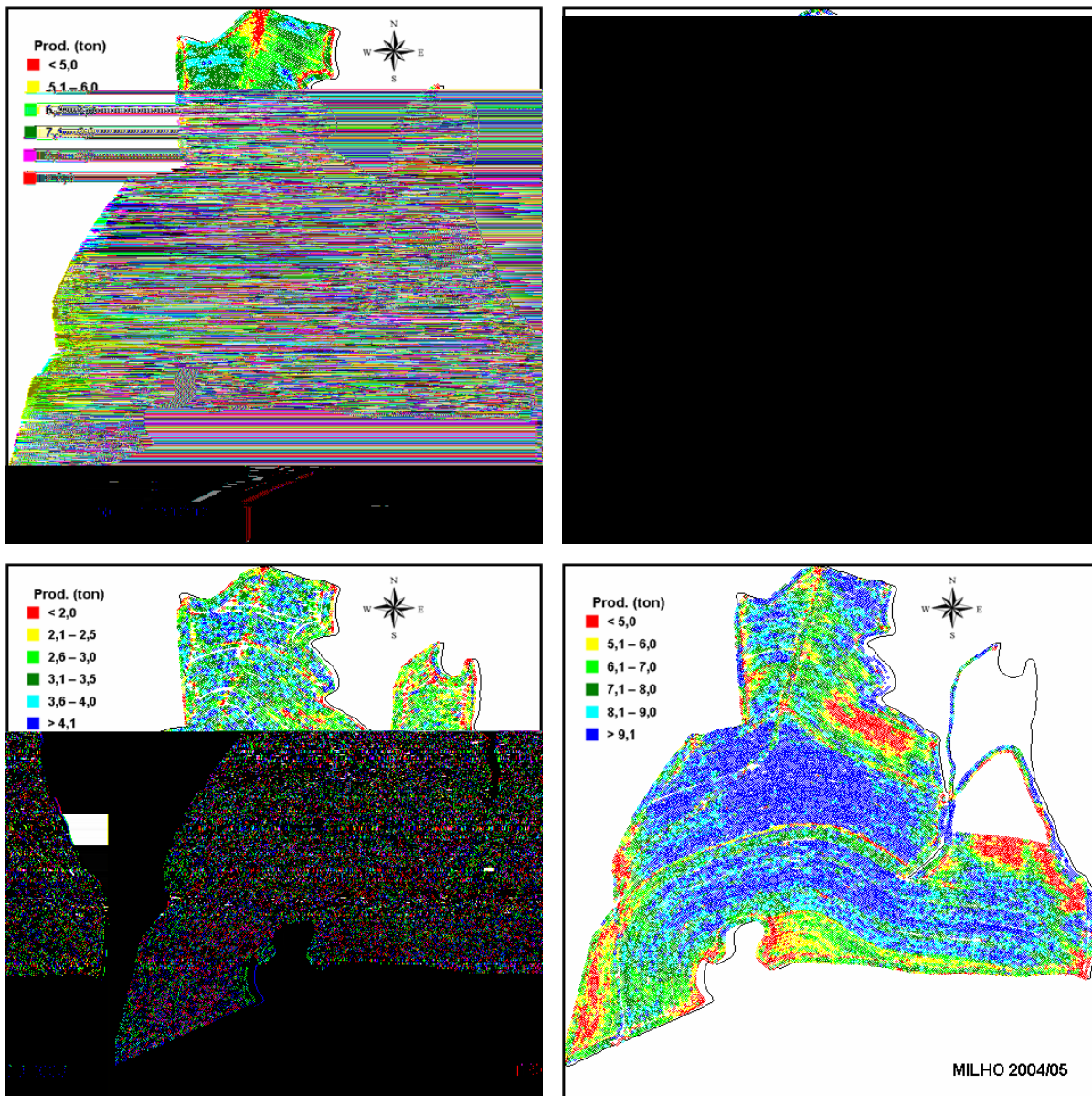


Figura 1.7 – Espacialização horizontal dos pontos de colheita após a filtragem dos dados das culturas do milho, da soja e do trigo- Não-Me-Toque/RS.

Para todos os arquivos de produtividade fez-se a espacialização, em classes, dos pontos armazenados durante a colheita (Figuras 1.7; 1.8 e 1.9). Através dessa forma de visualização, na área de Não-Me-Toque foi possível perceber que na parte leste da área não houve armazenamento de dados durante a colheita da cultura do milho safra 2004/05. Na área de Palmeira das Missões esse comportamento também ocorreu na cultura da soja nas safras 2002/03 e 2003/04.

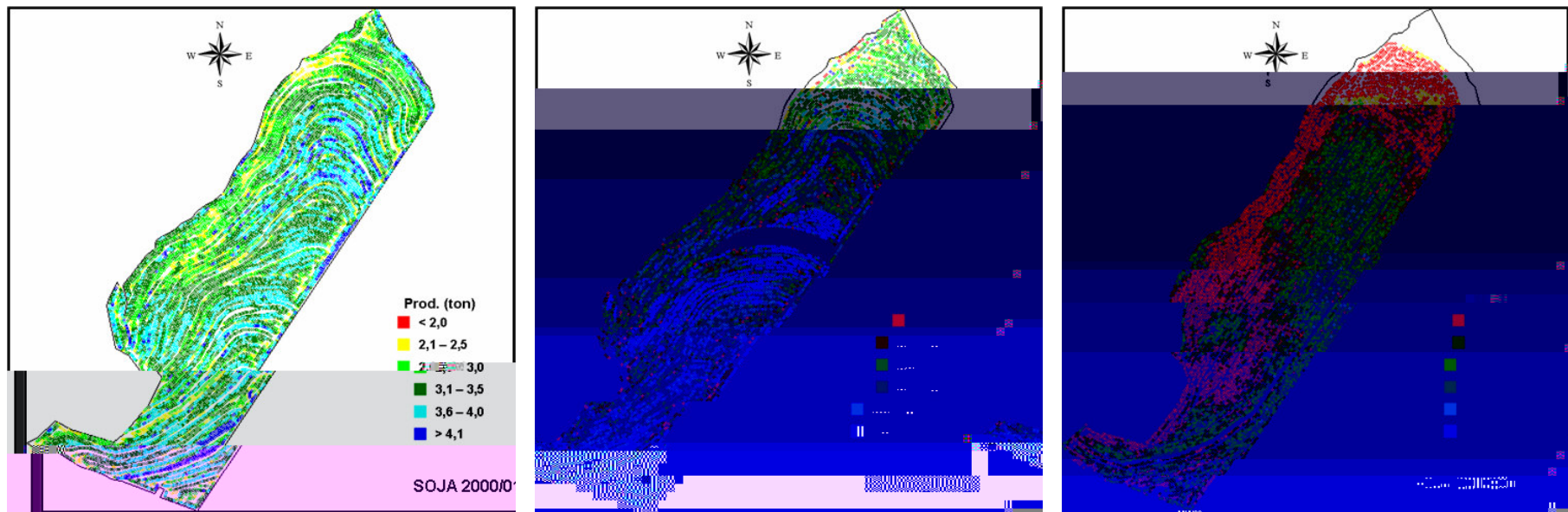


Figura 1.8 – Espacialização horizontal dos pontos de colheita após a filtragem dos dados da cultura da soja - Palmeira das Missões/RS.

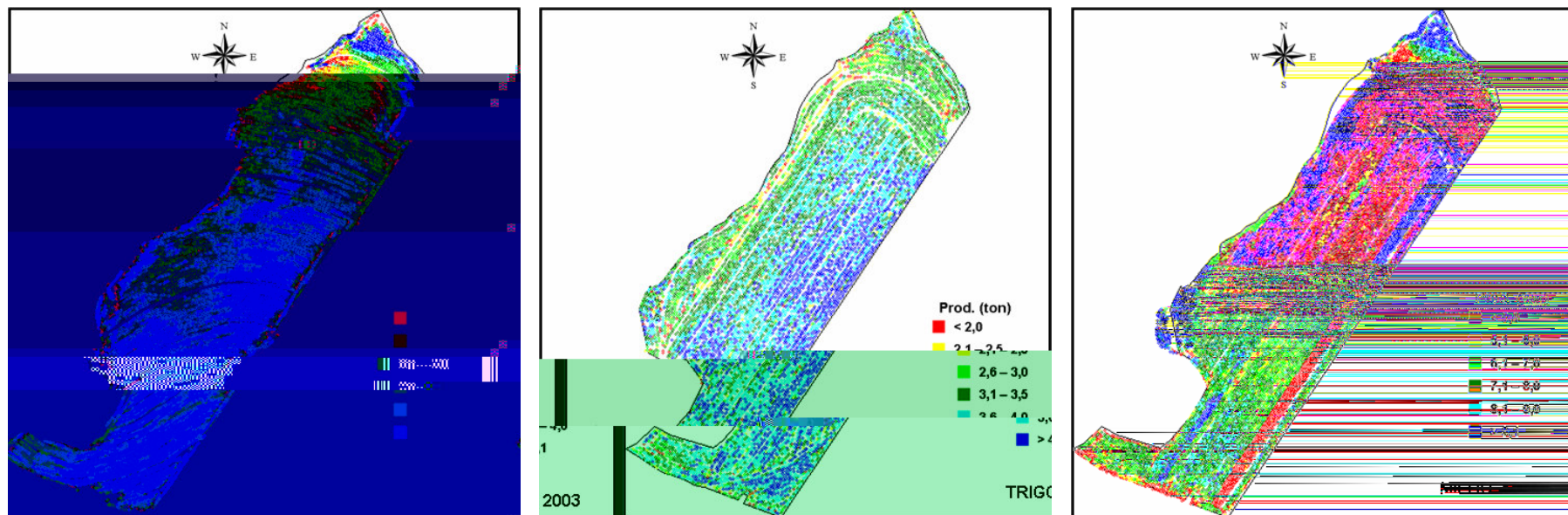


Figura 1.9 – Espacialização horizontal dos pontos de colheita após a filtragem dos dados das culturas do milho e do trigo - Palmeira das Missões/RS.

Os dados apresentados na Tabela 1.2 e especializados nas Figuras 1.7; 1.8 e 1.9 evidenciam a presença de variabilidade nas duas áreas estudadas. Para a cultura do milho, na área de Não-Me-Toque, as diferenças entre as máximas e mínimas produtividades foram superiores a 90% nas duas safras avaliadas. Já na área de Palmeira das Missões, as diferenças foram de 88% e 77% para as safras 2001/02 e 2004/05. Na cultura do trigo, o menor rendimento observado representou de 10 a 17% da máxima produtividade, respectivamente, nas áreas de Não-Me-Toque e Palmeira das Missões.

Na cultura da soja, na área de Não-Me-Toque, safra de 2002/03, a diferença entre o maior e o menor rendimento obtido foi de 79%, enquanto que em Palmeira das Missões os percentuais foram de 59%, 64% e 81% para as safras 2000/01, 2002/03 e 2003/04, respectivamente. O acréscimo nas diferenças verificado na safra 2003/04 pode ser justificado pelo estresse hídrico ocorrido no período, coincidente com o desenvolvimento vegetativo e, reprodutivo da cultura (Figura 1.10).

O déficit hídrico registrado em 2004 e 2005 no Sul do Brasil foi considerado o mais severo ou grave das últimas décadas. Em Palmeira das Missões, a precipitação registrada para o mês de fevereiro de 2004 representou apenas 16% (46 mm) da precipitação ocorrida no mesmo período em 2003 (284 mm). Em 2005, esse índice foi ainda menor, representando 2,5% (7 mm) do total precipitado em fevereiro de 2003.

É importante ressaltar que, em anos de boa disponibilidade hídrica, as demais condições de manejo também são beneficiadas, favorecendo a expressão do potencial produtivo das culturas em geral, podendo elevar ainda mais essa discrepância.

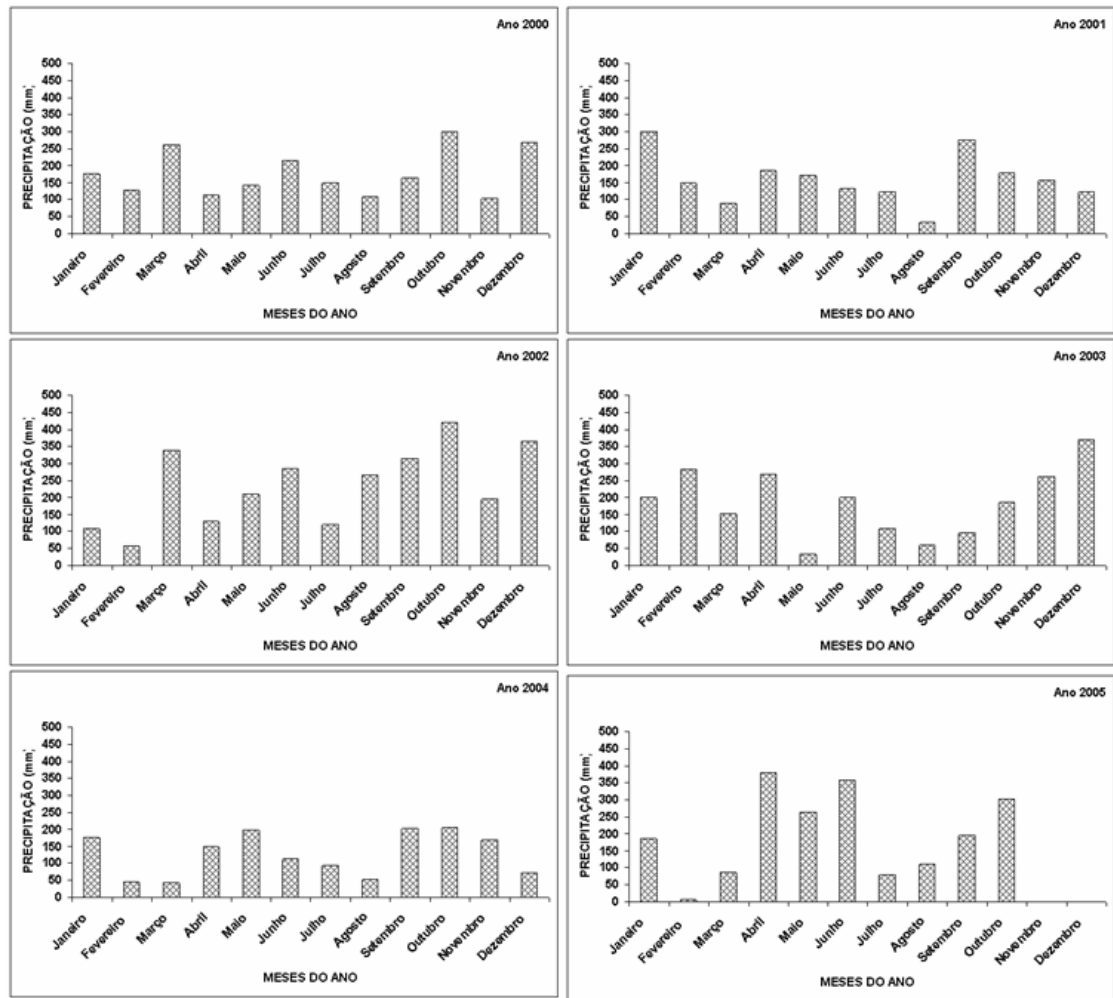


Figura 1.10 – Descrição das precipitações ocorridas na área de Palmeira das Missões durante o período experimental (Fonte: Produtor).

Na cultura da soja, mesmo em condições de elevado déficit hídrico, alguns locais apresentaram produtividades satisfatórias e acima de 3.000 kg ha⁻¹ e, em alguns casos, acima de 5.000 kg ha⁻¹. Parcianello *et al.* (2002) e Rambo *et al.* (2003) obtiveram em Eldorado do Sul/RS, em condições experimentais, potenciais de rendimento variando entre 5.139 kg ha⁻¹ e 5.014 kg ha⁻¹, quando no espaçamento de 20 cm entre linhas e 3.767 kg ha⁻¹ a 4.322 kg ha⁻¹, quando no espaçamento de 40 cm. Em condições de lavoura, em cultivos com espaçamentos de 45 cm (safra 2002/03), os rendimentos obtidos nesse trabalho foram superiores em 39% (5.220 kg ha⁻¹) e 32% (4.980 kg ha⁻¹), respectivamente, para a área de Não-Me-Toque e de Palmeira das Missões, quando comparadas com os rendimentos obtidos por Parcianello *et al.* (2002) e em 21 e 15 %, quando comparado com os dados obtidos por Rambo *et al.* (2003), em condições experimentais e mesmos espaçamentos. Na melhor condição de manejo, o rendimento obtido em Eldorado do Sul foi semelhante aos rendimentos obtidos nas duas primeiras safras de soja em Palmeira das Missões e Não-Me-Toque, indicando o elevado nível tecnológico dessas áreas comerciais.

Em condições americanas, Cooper (2003) também constatou que produtores vinham obtendo recordes de produtividade (6.000 kg ha⁻¹) na cultura da soja, fato não obtido em Estações Experimentais. Além de balizar a identificação de barreiras para a obtenção de maiores produtividades em condições de lavoura, essas informações podem ser de grande utilidade à pesquisa quando os propósitos forem a busca de produtividades máximas e/ou dos fatores bióticos e abióticos envolvidos. Isso também conduz à hipótese que algumas qualidades positivas devem existir nesses locais específicos, favorecendo o incremento na produção, quando comparado com os locais de baixa produtividade.

Para a cultura do milho, na área de Não-Me-Toque, os potenciais máximos de rendimento, obtidos em condições de lavoura, corresponderam a 87% e 93% do potencial máximo obtido em condições experimentais em Eldorado do Sul (Argenta *et al.*, 2003). Nas condições de Palmeira das Missões, de forma semelhante comprovou-se uma potencialidade a campo de 86% em relação ao obtido em condições controladas.

Quando da análise da presença de variabilidade temporal da produtividade, na área de Palmeira das Missões, Pontelli (2005) encontrou que a área apresenta variabilidade temporal com forte estruturação ao longo dos anos e uma dependência espacial consistente, abrangendo uma faixa de correlação com distância de 154 a 798 metros.

Nesse trabalho, nota-se uma agrupamento espacial ou repetibilidade ao longo dos anos de sub-áreas, com coerência na concentração espacial dos pontos de baixa e alta produtividade (Figura 1.11). O mapa da cultura do milho, safra 2005, revela, na sua direita,

um problema ocorrido durante a colheita, onde não houve o registro de uma parte dos dados. Mesmo assim, optou-se pela inclusão desses resultados devido a seu comportamento similar com o mapa de produtividade dessa cultura, no ano de 2002.

Nos mapas apresentados na Figura 1.11 foi possível identificar, visualmente, áreas definidas com uma região com produtividade baixa na porção nordeste do talhão. Na parte sudeste dos mapas destaca-se uma região com produtividade alta. Individualmente, os mapas da cultura do milho apresentaram uma maior estabilidade na variabilidade espacial das produtividades, indicando a potencialidade dessa cultura na definição de unidades de manejo através de mapas de produtividade. Camargo et al. (2004) encontraram essas mesmas tendências.

Em razão da grande variabilidade observada na produção de grãos, é importante para a ampliação e aplicação das técnicas da agricultura de precisão quantificar a estrutura espacial dessa variabilidade (Coelho, 2003). Se a variabilidade não apresenta estrutura espacial, ou seja, se ela não ocorre concentrada em áreas possíveis de serem manejadas, a melhor estimativa de qualquer parâmetro obtido nessa área é o valor médio ou a mediana, e a melhor maneira de se maneja-la é usando os conceitos da agricultura convencional, por meio de manejo uniforme. No entanto, se há comprovação dessas repetibilidade estrutural na área e a variabilidade espacial e temporal remetem à definição de unidades pela sua abrangência e espacialização, então, o mapa de produtividade ganha sua devida importância nesse cenário contextual de busca incessante pelo conhecimento gerencial das unidades de produção agrícola e instrumentação das máquinas para a colheita georreferenciada.

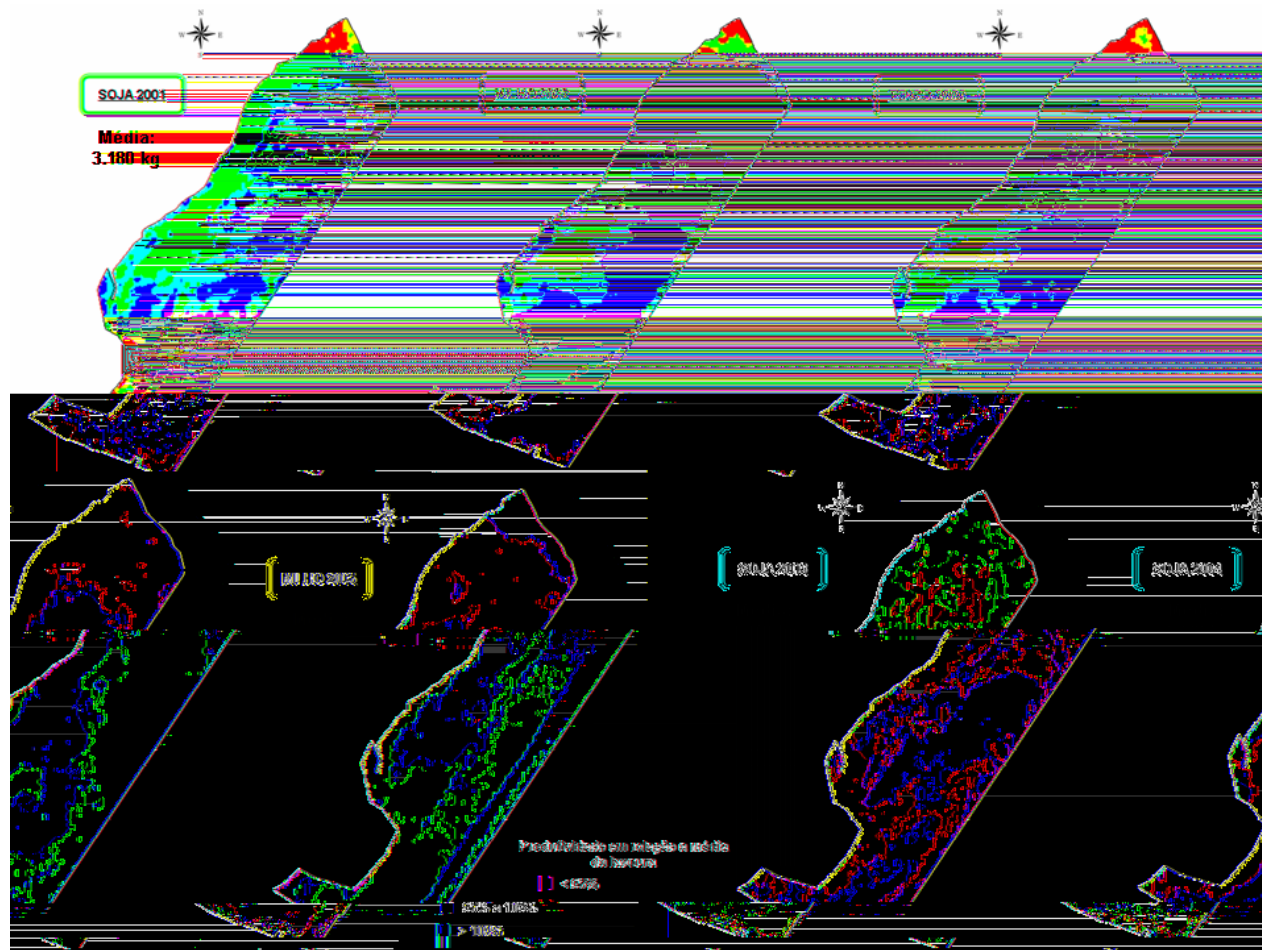


Figura 1.11 – Variabilidade horizontal da produtividade das culturas da soja (três safras), do milho (duas safras) e do trigo (uma safra) em relação à média da lavoura, na área de Palmeira das Missões - RS.

Na área de Palmeira das Missões, o menor rendimento para a cultura da soja foi de 1.980 kg ha⁻¹ na safra 2000/01 e de 1.800 kg ha⁻¹ na safra 2002/03. No ano que ocorreu seca (safra 2003/04), este rendimento caiu 60%, ficando em 720 kg ha⁻¹. Já na zona de alto rendimento, o decréscimo foi de 24%, caindo de 4.980 e 4.860 kg ha⁻¹ para 3.780 kg ha⁻¹. Na zona de média produtividade a queda foi de 30%. Isso sugere que a zona de baixo rendimento, é mais sensível ao estresse hídrico que as zonas de média e alta produtividade.

Para a cultura da soja, na área de Palmeira das Missões, os baixos rendimentos foram expressos em 30, 37 e 46% da área, respectivamente, nas safras 2000/01, 2002/03 e 2004/05 (Figura 1.12). Na cultura do milho, essa zona representou 37% na safra 2002/03 e 45% da área na safra 2004/05. Na cultura do trigo esse valor foi de 35%. Nessa área, em anos de déficit hídrico (2004 e 2005), independente da cultura (leguminosa ou gramínea) mais de 45% da área teve seu rendimento comprometido. Em todos os mapas as zonas de baixa e alta produtividade representaram, individualmente, mais de 30% da área.

Essa constatação endossa o fato de que tratar a produtividade da lavoura como uma média pode ser uma análise errônea do ponto de vista gerencial. Nesse trabalho, somente nas primeiras três safras as áreas com unidades de alta produtividade foram percentualmente superiores às de baixa produtividade. Nas últimas duas safras, em que ocorreram problemas de déficit hídrico, essa diferença foi de 8 a 12% em favor da unidade de baixa produção. Isso reforça as constatações feitas por Santos et al. (2004) em que, em anos mais secos, a delimitação das zonas de manejo pode estar relacionada com o regime hídrico e as características intrínsecas do solo como o teor de matéria orgânica e os níveis de compactação e armazenamento de água. Por esses motivos, zonas de maior produtividade, em anos normais, podem não se relacionar com zonas de maiores produtividades, quando em condições climáticas adversas.



Figura 1.12 – Verticalização da produtividade das culturas da soja (três safras), do milho (duas safras) e do trigo (uma safra) em relação à média da lavoura, na área de Palmeira das Missões - RS.

Na área de Não-Me-Toque, observou-se um comportamento similar à área de Palmeira das Missões, quando da análise da variabilidade espacial da produtividade (Figura 1.13). O mapa de produtividade da cultura do milho na safra 2001/02 revelou particularidades inerentes ao manejo do passado como uma antiga estrada no sentido norte/sul. A cultura do milho mostrou-se mais estável quanto da definição de unidades de altas e baixas produtividades. O mapa da cultura da soja na safra 2002/03 mostrou uma inversão espacial de produtividade em relação ao milho. Isso se deve a diferença da época de semeadura, entre a parte superior e a parte inferior da área. A cultura implantada na região sul da área, possivelmente, se beneficiou da boa disponibilidade hídrica ocorrida no período favorecendo uma maior absorção de nutrientes, e elevando a produtividade nesse local.

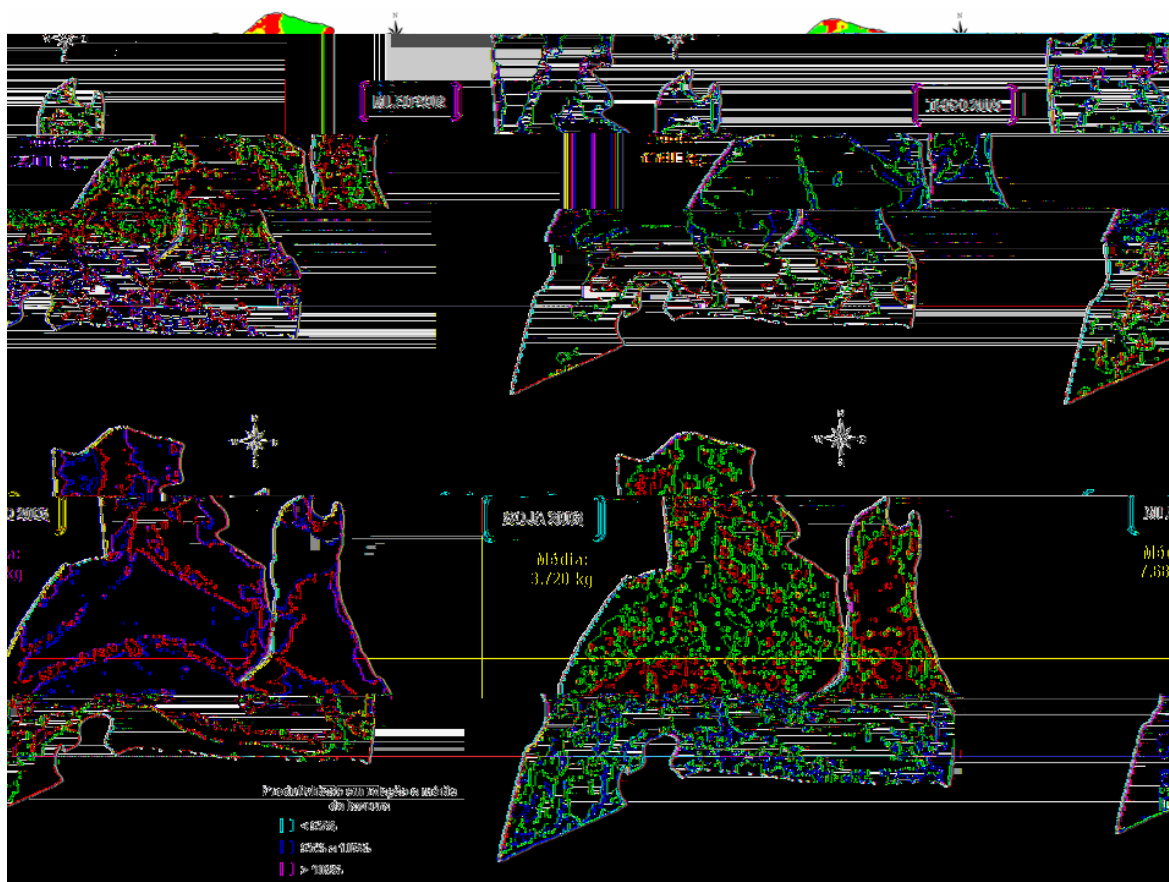


Figura 1.13 – Variabilidade horizontal da produtividade das culturas do milho (duas safras), da soja (uma safra) e do trigo (uma safra), em relação a média da lavoura, na área de Não-Me-Toque - RS.

Tabela 1.3 – Correlação (r) entre os dados de produtividade nas áreas de Palmeira das Missões e de Não-Me-Toque (RS).

Palmeira das Missões – 57 ha						
	Soja	Milho	Soja	Trigo	Soja	Milho
	2000/01	2001/02	2002/03	2003	2003/04	2004/05
Soja 2000/01	1,000	-	-	-	-	-
Milho 2001/02	0,481**	1,000	-	-	-	-
Soja 2002/03	0,489**	0,386*	1,000	-	-	-
Trigo 2003	0,623**	0,668**	0,661**	1,000	-	-
Soja 2003/04	0,174 ^{ns}	0,340 ^{ns}	0,354 ^{ns}	0,316 ^{ns}	1,000	-
Milho 2004/05	0,254 ^{ns}	0,516**	-0,074 ^{ns}	0,099 ^{ns}	-0,046 ^{ns}	1,000
Não – Me –Toque – 132 ha						
	Milho 2001/02	Soja 2002/03	Trigo 2003	Milho 2004/05		
Milho 2001/02	1,000	-	-	-		
Soja 2002/03	-0,191 ^{ns}	1,000	-	-		
Trigo 2003	0,554**	-0,096 ^{ns}	1,000	-		
Milho 2004/05	0,699**	-0,240 ^{ns}	0,346**	1,000		

* Significativo a 5%; ** significativo a 1 % e ^{ns} não significativo.

Observando a Figura 1.14, percebe-se que as unidades de baixa produtividade, mantiveram-se, em termos de representação de área, estável com os percentuais de 37, 36, 33 e 38% para os mapas das culturas do milho 2002, trigo 2003, soja 2003 e milho 2005, respectivamente. Esses dados reforçam as conclusões de Camargo et. al. (2004), em que se identificam uma região do talhão com produtividade consistentemente baixa e outra com produtividade consistentemente alta.

As correlações encontradas entre os mapas de produtividade nos anos com problemas de disponibilidade hídrica podem ter sido comprometidas e não ter relações precisas com os demais mapas obtidos sem déficit hídrico. Na área de Palmeira das Missões, as correlações entre a cultura da soja safra 2002/03 foram baixas e não significativas com todos os mapas comparados. As melhores correlações foram obtidas quando feito o cruzamento entre culturas da mesma família botânica (gramíneas – milho/milho ou milho/trigo ou leguminosa – soja/soja), ou quando em condições climáticas semelhantes, reforçando ainda mais a importância de se conhecer o regime hídrico do período. Considerando que a variabilidade espacial do rendimento pode ser reflexo de uma complexa interação de fatores como os ligados a aspectos fisiológicos da cultura, problemas referentes às intempéries climáticas e todos aqueles atributos referentes à qualidade do solo. Quando se almeja utilizar os mapas de colheita para definir estratégias de manejo, é importante que se acumule vários mapas de colheita na mesma área, para minimizar tais efeitos e a tomada de decisões precipitadas e imprecisas, salvo nos casos em que os problemas tenham sido levantados durante o processo de colheita, auxiliado pelo uso de marcadores (Mulla & Schepers, 1997).

A Figura 1.15 demonstra que em ambas as áreas seria possível uma separação visual de unidades de alta e baixa produtividades, reforçando os resultados encontrados por Pontelli (2005) para a área de Palmeira das Missões, de que a variabilidade temporal teria forte estruturação ao longo dos anos. Para Molin (2000), os mapas de colheita fazem parte de uma etapa de aprendizagem para o agricultor e os que o cercam nessa tarefa. A interpretação criteriosa também depende das demais informações relacionadas à variabilidade. Quando isso for de consciência, então o mapa de colheita ganha seu espaço na interpretação da variabilidade da lavoura.

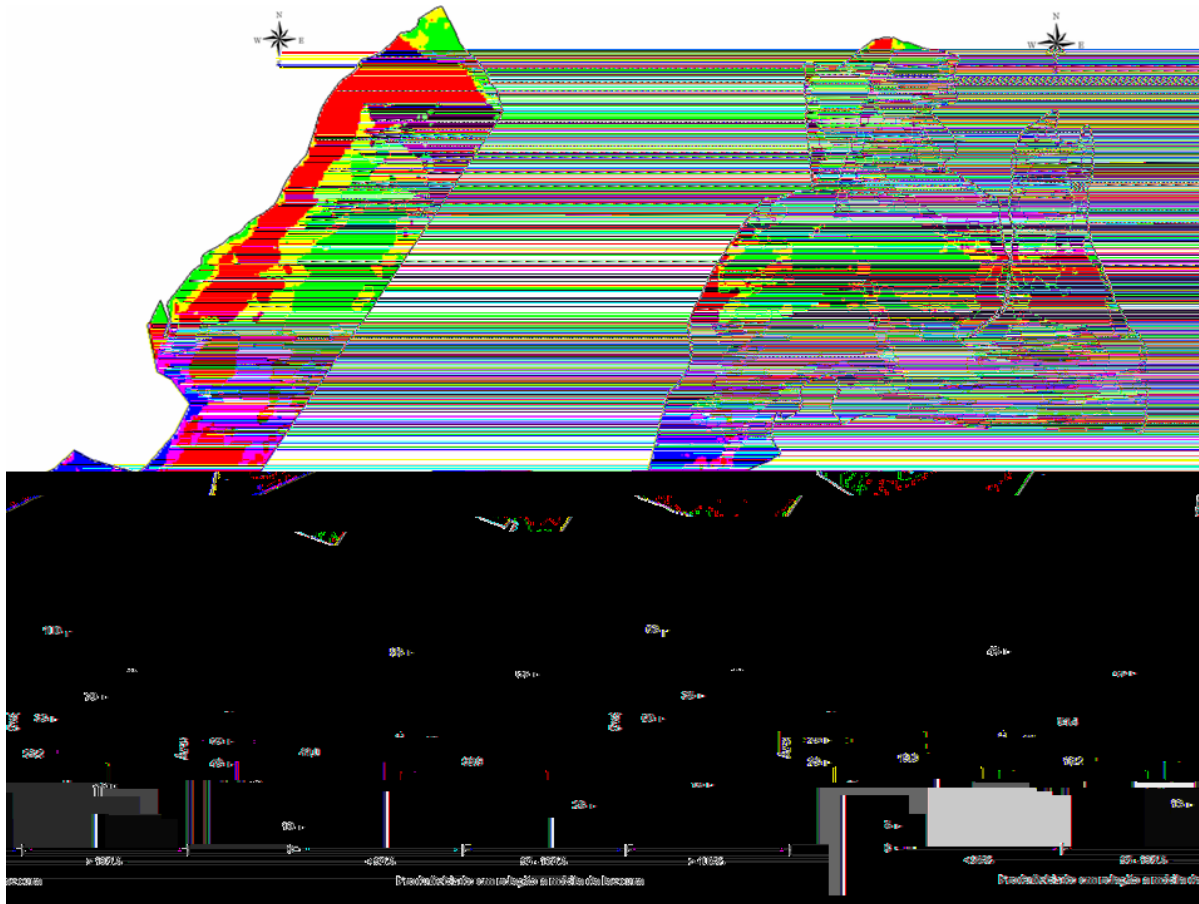


Figura 1.15 – Variabilidade horizontal temporal e verticalização da produtividade em relação a média da lavoura, segundo a metodologia proposta por Molin (2002) e considerando a sobreposição de seis mapas para a área de Palmeira das Missões e quatro mapas para a área de Não-Me-Toque - RS.

Pensando nessa possibilidade, para os mesmos exemplos elucidados acima na Figura 1.15, foram alterados os intervalos de representação gráfica visando testar outra metodologia similar, como propõem Shiratsuchi et al. (2005). Esses autores sugerem um intervalo um pouco mais flexível onde pontos com valores iguais ou superiores a 110% da média geral compõem a classe de alta produtividade, os pontos com 90% a 110% da média a classe de

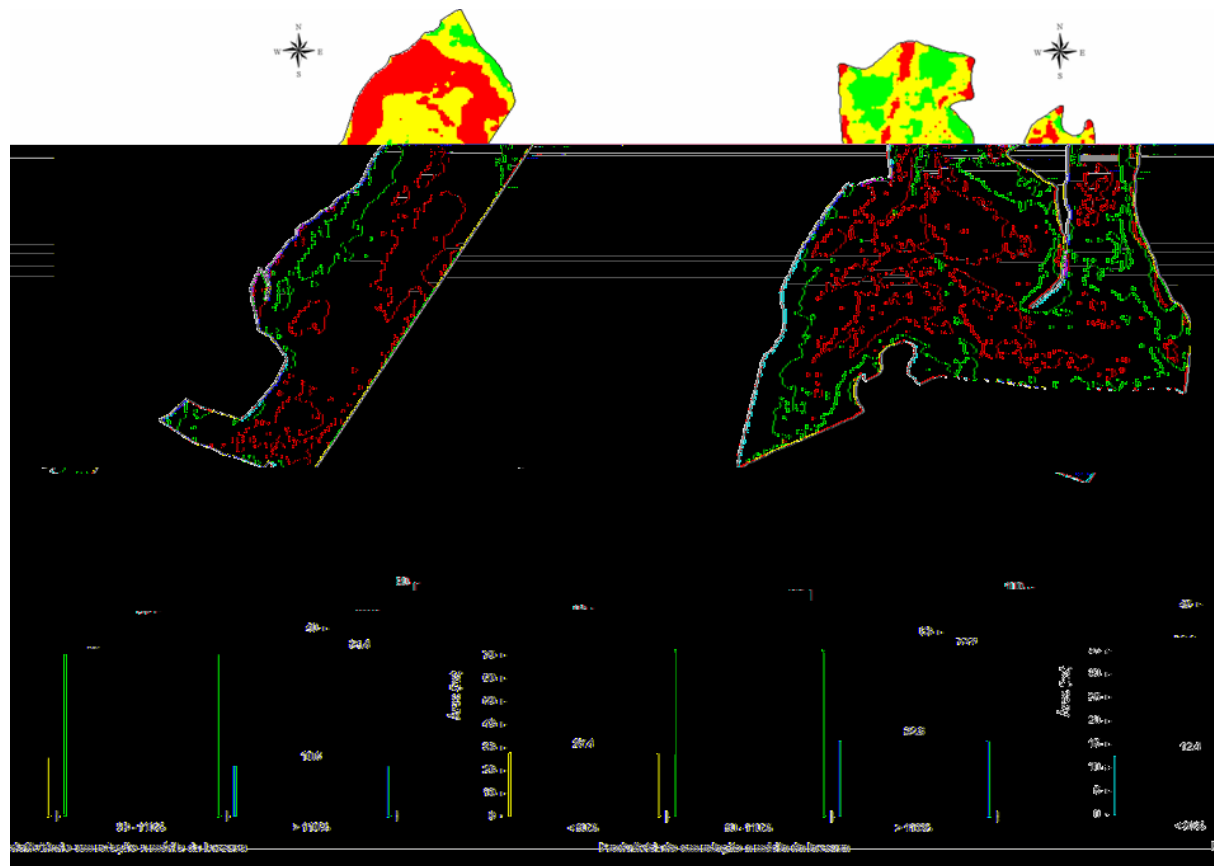


Figura 1.16 – Espacialização horizontal e verticalização da produtividade em relação a média da lavoura, segundo a metodologia proposta por Shiratsuchi et al. (2005) e considerando a sobreposição de seis mapas para a área de Palmeira das Missões e quatro mapas para a área de Não-Me-Toque - RS.

De uma forma prática, os resultados obtidos demonstraram, nas duas áreas estudadas, uma variabilidade estruturada e com repetição durante os anos. Neste caso, valores médios de produtividade não expressam corretamente o potencial produtivo das áreas, mesmo em áreas de plantio direto consolidado.

A medição da produtividade por meios automáticos, a partir de sensores instalados em colhedoras significa uma valiosa ferramenta de manejo, por permitir que grande quantidade de dados sejam coletados durante a colheita e por fornecer subsídios para a tomada de decisão. Exemplificando, caso fosse utilizado o valor médio de produtividade como critério para a definição da adubação de manutenção nas áreas estudadas, poderia se estar incorrendo em subestimação ou super-estimação de até 35% da real necessidade de fertilizantes nas áreas, haja vista que foram comprovadas áreas estáveis com altos e baixos rendimentos.

Neste sentido, quando comparada a metodologia proposta por Molin (2002) e a metodologia proposta por Shiratsuchi et al. (2005) para a divisão da área em zonas de alto, médio e baixo potencial de rendimento e sua aplicabilidade como instrumento de gerencial das áreas e definição de estratégias de manejo, percebe-se que na Figura 1.15 há uma definição mais visual e clara das unidades de alto e baixo rendimento enquanto que na Figura 1.16 essa definição fica um pouco difusa e tendendo à normalidade.

O critério que mais se ajustou a realidade das áreas estudadas foi a divisão proposta por Molin (2002) uma vez que os objetivos desse trabalho também colaboram com as sugestões desse autor em que outros aspectos gerenciais devem ser considerados, como o desejo de atuar nas áreas de alta produtividade, buscando otimizá-las ou mesmo isolar as áreas de produtividade consistentemente baixas para intervir nessas.

Neste sentido utilizou-se o maior histórico de produtividade disponível no estudo (no caso dados de Palmeira das Missões – seis safras) com o objetivo de determinar a consistência das unidades de alto médio e baixo rendimento mostradas na Figura 1.15. Em cada zona foram escolhidos cinco pontos representativos e com estes calculadas a produção acumulada de grãos conforme mostra a Figura 1.17.

Os resultados reforçam as proposições de Molin (2002) de que sejam considerados no mínimo três eventos de produtividade para a definição de zonas potenciais de produtividade. Segundo a Figura 1.17, a partir do acúmulo de três eventos de produtividade ficaram caracterizadas, estatisticamente, as três zonas de manejo.

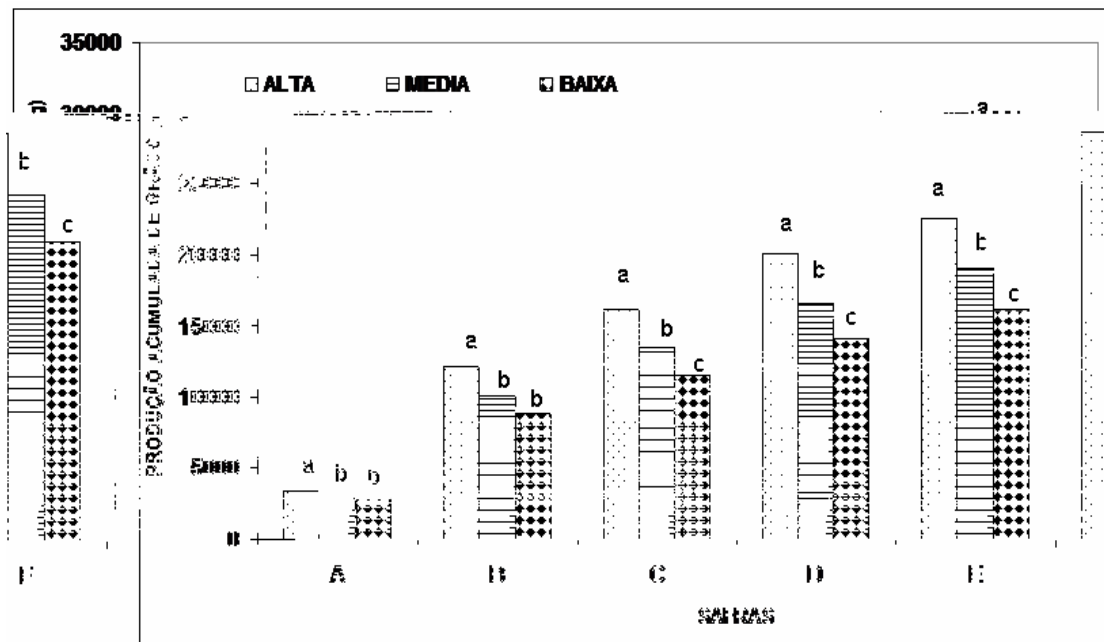


Figura 1.17 – Produção acumulada de grãos em três zonas potenciais produtivas na safra de soja 2000/01 (A); safras de soja 2000/01 + milho 2001/02 (B); safras de soja 2000/01 + milho 2001/02 + soja 2002/03 (C); safras de soja 2000/01 + milho 2001/02 + soja 2002/03 + trigo 2003 (D); safras de soja 2000/01 + milho 2001/02 + soja 2002/03 + trigo 2003 + soja 2003/04 (E) e safras de soja 2000/01 + milho 2001/02 + soja 2002/03 + trigo 2003 + soja 2003/04 + milho 2004/05 (F) – Teste T 5% de probabilidade.

Após seis safras, a zona de alta produtividade mostrou uma diferença acumulada na produtividade de grãos em 14,97 % quando comparada à zona de média produtividade, e de 26,31 % quando comparada à zona de baixa produtividade. A diferença entre a zona de média e de baixa produtividade foi de 13,34 %.

1.4 CONCLUSÕES

A realização da filtragem nos dados brutos de produtividade pouco alterou a

1.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SILVA, P.R.F. *et al.* **Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção.** *Scientia Agrária*, v.4, n.1-2, p.27-34, 2003.

BLACKMORE, B.S. & MARSHALL, C.J. Yield mapping: errors and algorithms. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings.** Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1996, p.403-415.

BARNI, N.A.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H.; RIBOLDI, J. Rendimento máximo do girassol com base na radiação solar e temperatura: II. Produção de fitomassa e rendimento de grãos. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.1, p. 201-216, 1995.

CAMARGO, W.P.; SOUZA, A.B.M.; NAGUMO, G.K. & MOLIN, J.P. Análise temporal da variabilidade espacial de mapas de produtividade. **Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão.** CD-Room. Piracicaba, SP – ESALQ/USP, 2004.

CUGNASCA, C.E., & SARAIVA, A.M. Eletrônica Embarcada, **Revista Cultivar Máquinas**, outubro, 2005. p.16-19.

COELHO, A.M., Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: **Tópicos em Ciência do Solo**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa. v.3, p.249, 2003.

COOPER, R.L. **Pesquisa sobre produtividade máxima da soja nos EUA.** Informações Agronômicas – POTAFOS, n.101, março de 2003.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** – Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412 p.1999.

EVANS, L.T. Processes, genes, and yield potential. In: BUXTON, D.R.; SHIBLES, R.; FORSBERG, R.A.; ASAY, K.H.; PAULSEN, G.M.; WILSON, R.F. (Ed.) **International Crop Science I.** Madison: Crop Science Society of America, p.687-696, 1993.

FRAISSE, C. Agricultura de Precisão: tecnologia ao alcance de todos. Disponível na Internet via [WWW.URL:http://www.agricultura.de.precisao.com.br](http://www.agricultura.de.precisao.com.br). Arquivo capturado em 07 de fevereiro de 2006.

GIOTTO, L; ROBAINA, A. D. & SULZBACH, L. **A Agricultura de Precisão como o Sistema CR Campeiro5**, Manual do Usuário. 330 p, 2004.

HAN, S.; HUMMEL, J.W.; GOERING, C.E.; CAHN, M.D. Cell size selection for site-specific crop management. **Transactions of the ASAE**, v.37, n.1, p.19-26, Jan./Feb. 1994.

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

MOORE, M. An investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management. 379p. 1998. **Thesis (Doctorate)** - Silsoe College, Cranfield University, Warwick, 1998.

MOLIN, J.P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M.P.; QUEIROZ, D.M.; MANTOVANI, E.C.; FERREIRA, L.R.; VALLE, F.X.R.; GOMIDE, R.L. **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 237-258, 2000.

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

MOLIN, J.P. **Agricultura de Precisão – o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba/SP, 2001 – reimpressão, 83p. 2003.

MULLA, D.J. & SCHEPERS, J.S. Key process and properties for site-specific soil and crop management. In: PIERCE, F.J. & SADLER, E.J., eds **The state of site-specific management for agriculture**. Madison, American Society of Agronomy, 1997. p.1-18.

PARCIANELLO, G.; COSTA, J.A.; RAMBO, L.; PIRES, J.L.; SAGGIN, K.D. Potencial de rendimento de grãos da soja por estrato do dossel em função do espaçamento entre fileiras e desfolhamento. **XXX Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul**. Cruz Alta, RS, p. 152, 2002.

PONTELLI, C.B. **Caracterização da variabilidade espacial das características químicas do solo e da produtividade das culturas utilizando as ferramentas da agricultura de precisão**. Santa Maria, 110p. 2006, Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria.

QUEIROZ, D.M.; DIAS, G.P. & MANTOVANI, E.C. Agricultura de precisão na produção de grãos. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M.P.; QUEIROZ, D.M.; MANTOVANI, E.C.; FERREIRA, L.R.; VALLE, F.X.R.; GOMIDE, R.L. In: **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 2-42, 2000.

RAMBO, L.; COSTA, J.A.; PIRES, J.L.F. *et alii*. Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. **Ciência Rural**, v.33, n.3, p.405-411, 2003.

SÁ, M.F.M. **Abordagem quantitativa na predição espacial de atributos do solo e geração de zonas de manejo agrícola**. Piracicaba, 117p. 2001. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo.

SANTOS, A.O.; UNGARO, M.R.G. & LINO, A.C.L. Considerações sobre o delineamento de zonas “potenciais” de manejo a partir de dados de solo-planta-clima. In: **Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão**. CD-Room, Piracicaba, SP – ESALQ/USP, 2004.

SHIRATSUCHI, L.S.; FACCIONI, G.C.; QUEIROZ, L.R.; DOWICH, I.; OLIVEIRA, J.V.F. Utilização de lógica nebulosa em dados de produtividade para delimitação de zonas de manejo. **III Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão**. Embrapa Milho e Sorgo – Sete Lagoas, MG, agosto, 2005.

STORCK, L. & LOPES, S.J. **Experimentação II**. Santa Maria: UFSM, CCR, Departamento de Fitotecnia, 2^a. Ed. 205 p. 1998.

THYLÉN, L.; JURSCHIK, P.; MURPHY, D.L.P. Improving the quality of yield data, In: **EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE**, Warwick, 1997. Precision agriculture’97, Warwick: BIOS Scientific Publishers, v.1.p. 743-750. 1997.

CAPÍTULO 2: EVOLUÇÃO TEMPORAL DAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO EM UMA LAVOURA COMERCIAL MANEJADA A TAXA VARIADA SIMPLIFICADA DE FERTILIZANTES E CORRETIVOS

2.1 INTRODUÇÃO

Em muitos sistemas agrícolas a heterogeneidade é uma propriedade inerente ao solo que tipifica sua anisotropia. Numa paisagem natural, o solo pode apresentar uma ampla variabilidade das suas características, tanto no sentido espacial horizontal como vertical (perfil do solo), resultante dos processos que comandam os fatores de sua formação (Carvalho et al., 2003).

Esta variabilidade é atribuída geralmente a causas naturais, pelo efeito de fatores de formação do solo sobre o material de origem, aliados à ação antrópica na atividade agrícola. A estratégia de aplicar fertilizantes em faixas ou em linhas, por si só, pode conduzir, com o passar do tempo, ao aumento da heterogeneidade química do solo, com implicações sobre a variação de produtividade em áreas agrícolas. A atividade humana, que embora objetive uniformizar os teores dos nutrientes no solo, também induz a variabilidade (Schlindwein & Anghinoni, 2002).

A variabilidade espacial de atributos químicos do solo geralmente é intrínseca a cada local e condições de solo e clima. A visão predominante de qualidade do solo, na atualidade, refere-se à natureza dinâmica dos solos, influenciada pelo uso e manejo praticado pelo homem (Reichert et al., 2003). O uso e o manejo baseados em cultivos intensivos, aliados à alta taxa de revolvimento ao longo do tempo que antecedeu o advento do sistema plantio direto (SPD) no Sul do Brasil, promoveram alterações nas propriedades, como a redução do conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS), e o decréscimo das produtividades das culturas (Wendling, 2005).

Em condições de campo, a única heterogeneidade considerada é em relação à profundidade quando da amostragem de solo (Reichardt et al., 1986). No entanto, os avanços ocorridos recentemente na agricultura como a adoção do SPD e a introdução de ferramentas da Agricultura de Precisão (AP), como o Sistema de Posicionamento Global (GPS),

proporcionaram repensar alguns conceitos e formas de condução de manejo em áreas de lavouras comerciais. Conhecer detalhadamente a presença da variabilidade química e suas relações com a produtividade pode permitir implantar o manejo em sitio específico ou em taxa variada (Coelho, 2003), com ganhos no manejo dos insumos, redução nos custos de produção e minimização dos riscos ambientais (Viana, 2005; Pes et al., 2006; Biscaro & Garzella, 2006).

A condição elementar que rege a adoção da AP é a variabilidade espacial já relatada em trabalhos anteriores de pesquisa (Schlindwein & Anghinoni, 2000b; Rodrigues, 2002; Pontelli, 2006). Em sistemas de produção que visam o incremento da eficiência por meio de manejo regionalizado de insumos e práticas agrícolas, como no sistema de AP, as alternativas para se estimar e definir as causas da heterogeneidade na produtividade das culturas, em condições de campo, têm se baseado em mapas de rendimento (Molin, 2002) ou no conhecimento da distribuição espacial e das relações dos principais atributos químicos, usados na avaliação da fertilidade (Ortega, 1997; Lima & Silans, 1999; Schiebelbein et al., 2004 e Viana, 2005).

No entanto, grande parte dos trabalhos de pesquisa tem sido conduzida em pequenas glebas, focando princípios de experimentação como tamanho da malha amostral, dependência espacial das variáveis analisadas e métodos geoestatísticos para definição de zonas de manejo, redução do número de amostras e aplicação de insumos em taxa variada. Poucas são ainda as informações que contemplam os ganhos práticos e as melhorias no SPD a partir da adoção de manejo localizado, empregando ferramentas da AP em condições e realidade comercial de lavoura no Sul do Brasil, seja na evolução da fertilidade do solo ou na produtividade das culturas.

Esta mudança é necessária para que se entenda a propriedade não homogênea e que se trate cada gleba conforme as suas necessidades. Essa percepção faz com que, por exemplo, a quantidade de fertilizantes deixe de ser utilizada em quantidade média para toda a área, atendendo apenas as necessidades médias e não considerando, desta forma, as necessidades específicas de cada gleba (Tschiedel & Ferreira, 2002).

A estratégia de controle das necessidades de insumos e das taxas a serem aplicadas pode ser efetuada por meio de mapas definidos a partir de informações de atributos da fertilidade do solo, rendimentos obtidos e esperados. Neste sentido, as aplicações podem ser comandadas por meio de dispositivos nas máquinas de aplicação que comandam as decisões de variação da aplicação, processando os dados dos sensores existentes e os dados inseridos pelo usuário (Dallmeyer & Schlosser, 1999), ou seja, exige equipamento de localização do

aplicador no campo (GPS), bem como de equipamento que armazene o mapa de variabilidade com as taxas programadas (Molin, 1997). Para Focht et al. (2004), sistemas mais simples, como a demarcação das zonas de manejo através do “método de rastros” ou zonas de manejo e a aplicação das taxas definidas em cada zona utilizando os equipamentos disponíveis na propriedade pode também ser um sistema eficaz e econômico.

Os objetivos desse trabalho foram caracterizar a variabilidade espacial horizontal e vertical de atributos químicos do solo em uma área de lavoura comercial manejada no SPD e com práticas de AP; avaliar a evolução temporal na fertilidade do solo a partir da adoção da AP e avaliar a eficiência da taxa variada simplificada; fornecer subsídios para outros trabalhos como o cruzamento destas informações com o potencial produtivo das culturas gerado a partir de colheita georreferenciada.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado em uma área de lavoura comercial com 57,3 hectares situada entre as coordenadas 26^o27'52'' (E) a 26^o39'62'' (E), e 69^o18'712'' (N) a 69^o20'149'' (N), numa altitude aproximada de 600 m no município de Palmeira das Missões, Planalto Médio do Estado do Rio Grande do Sul (RS). O solo pertence à unidade de mapeamento Passo Fundo, classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, textura argilosa (Embrapa, 1999). O relevo da área amostrada é suave ondulado.

Esse local foi escolhido por seu histórico de manejo há mais de dez anos no SPD, com rotação de culturas, obtenção de elevados rendimentos e, mais recentemente (últimos cinco anos), pela incorporação de técnicas de AP. Como o produtor não possuía equipamento para realização de adição de fertilizantes e corretivo em taxa variada, no início da implantação da tecnologia AP, procurou-se facilitar o manejo na área realizando a separação em três distintas zonas de potencial de rendimento manejo (Figura 2.1). A delimitação dessas zonas baseou-se no histórico dos mapas de produtividade disponível e na experiência de campo acumulada pelo produtor e de seu agrônomo assistente.

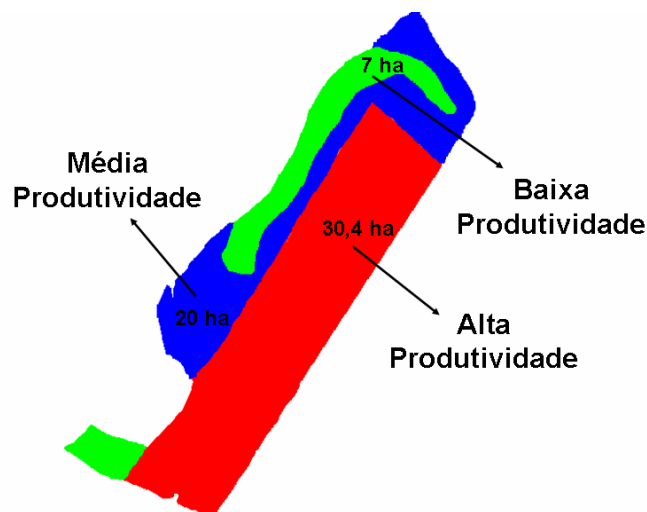


Figura 2.1 – Zonas de potencial produtivo utilizada na definição das doses variadas, Palmeira das Missões (RS).

A aplicação do fertilizante foi realizada na linha de semeadura por ocasião da semeadura das culturas. Até o ano de 2002, a adubação realizada na área baseava-se em taxa uniforme com aplicação de 300 kg ha^{-1} da fórmula 5-25-25 (NPK), antecedendo a cultura principal. Em 2002, na semeadura da cultura da soja, utilizou-se o adubo formulado 0-30-20 (NPK) nas doses de 250 kg ha^{-1} para as zonas de baixa e média produtividade e 300 kg ha^{-1} para a zona de alta produtividade. Em 2003, na semeadura da cultura do trigo, a fórmula utilizada foi 8-20-20 (NPK), seguindo as mesmas doses aplicadas em 2002 em cada zona. Para a cultura da soja safra 2003/04, a fórmula utilizada foi 0-18-10 (NPK) nas doses de 450 kg ha^{-1} para as zonas de baixa e média produtividade e 500 kg ha^{-1} para a zona de alta produtividade. Em 2004, a fórmula utilizada foi 7-18-10 nas doses de 580 kg ha^{-1} para a zona de baixa, 390 kg ha^{-1} para a zona de média e 290 kg ha^{-1} para a zona de alta produtividade.

As amostras de solo foram coletadas em duas épocas, durante o mês de abril do ano de 2002 e do ano de 2004, estratificadas nas camadas de 0 a 0,05, 0,05 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m, utilizando-se uma pá de corte e as amostragens compostas (linha/entre linha) seguiram as recomendações da Comissão ... (2004). Seguiu-se uma malha de amostragem regular georreferenciada de 100m por 100m, totalizando 58 pontos amostrais conforme metodologia proposta por Roloff & Focht (2002). Como referencial, também foram coletadas amostras de solo em área de mata e campo nativo. A espacialização dos pontos de amostragem, uma feição geral da área e da forma de coleta das amostras de solo é apresentada na Figura 2.2.

As amostras de solo coletadas foram secas em estufa a 65° C , moídas e tamizadas em malha de 2,0 mm. Os atributos analisados foram: o teor de argila (somente no primeiro ano) determinada pelo método da pipeta, pH em água determinado por meio de potenciometria,

fósforo (P) e potássio (K) disponíveis (Mehlich-1) determinados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente, cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e alumínio (Al^{3+}), extraídos com solução de KCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$. O Ca^{2+} , e o Mg^{2+} foram determinados por meio de espectrofotometria de absorção atômica e o Al^{3+} por meio de titulação com NaOH $0,0125 \text{ N}$. Calculou-se a $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$ e determinou o teor de matéria orgânica do solo (MOS), esta somente no primeiro ano, conforme procedimentos descritos por Tedesco et al. (1995) .

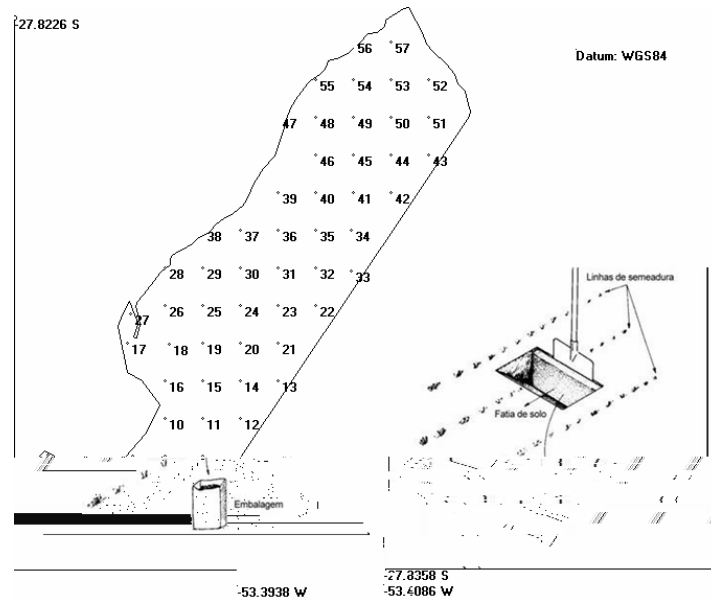


Figura 2.2 – Feição geral da área com os pontos de amostragem de solo e da forma de coleta das amostras, Palmeira das Missões (RS).

Para o cálculo do balanço nutricional e exportação de P e K na área, foram utilizadas as informações de produtividade contidas em cada zona de manejo e acumuladas nos mapas de cada cultura (dados apresentados no Capítulo 1) e os valores exportados de nutrientes por tonelada de grãos produzida, segundo proposição da Comissão...(2004) sendo para a cultura da soja $14 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ Mg}^{-1}$ de grãos e $20 \text{ kg de K}_2\text{O Mg}^{-1}$ de grãos, para a cultura do trigo: $10 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ Mg}^{-1}$ de grãos e $6 \text{ kg de K}_2\text{O Mg}^{-1}$ de grãos e para a cultura do milho $8 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ Mg}^{-1}$ de grãos e $6 \text{ kg de K}_2\text{O Mg}^{-1}$ de grãos.

Os dados obtidos das análises de solo foram tabulados em planilhas eletrônicas, interpolados pelo inverso do quadrado da distância e os modelos digitais especializados na forma de mapas utilizando-se o programa CR-Campeiro5 (Giotto et al., 2004). As análises estatísticas descritivas foram efetuadas utilizando-se o programa GeoVisual (Yamamoto, 2002).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelos dados da Tabela 2.1 percebe-se que, independente da zona de manejo (alta, média e baixa produtividade), o balanço nutricional para o P e o K está sendo positivo, ou seja, as adubações realizadas na área foram eficientes em atender à demanda das culturas.

Tabela 2.1 – Balanço das adições de fertilizantes e exportações de fósforo e potássio em três zonas potenciais produtivas. Palmeira das Missões (RS).

ADIÇÕES DE FERTILIZANTES NA ÁREA (kg ha⁻¹)					
Zona com potencial produtivo elevado (30,4 ha)					
NUTRIENTES	2002 (Verão)	2003 (Inverno)	2003 (Verão)	2004 (Inverno)	TOTAL
P ₂ O ₅	90	60	90	52	292
K ₂ O	60	60	50	39	209
Zona com potencial produtivo médio (20 ha)					
P ₂ O ₅	75	50	81	70	276
K ₂ O	60	60	45	49	214
Zona com potencial produtivo baixo (7 ha)					
P ₂ O ₅	75	50	81	104	310
K ₂ O	50	50	45	68	213
EXPORTAÇÕES DE NUTRIENTES NA ÁREA (kg ha⁻¹)					
Zona de Alta Produtividade (30,4 ha)					
NUTRIENTES	Milho 2001/02	Trigo 2003	Soja 2002/03	TOTAL	
P ₂ O ₅	68	38	49	155	
K ₂ O	51	23	70	144	
Zona de Média Produtividade (20 ha)					
P ₂ O ₅	73	32	45	150	
K ₂ O	55	19	64	138	
Zona de Baixa Produtividade (7 ha)					
P ₂ O ₅	54	29	42	125	
K ₂ O	40	18	60	118	
BALANÇO NUTRICIONAL (kg ha⁻¹)					
ZONAS DE MANEJO				P₂O₅	K₂O
Alto potencial produtivo				+137	+65
Médio potencial produtivo				+126	+76

Os valores médios dos atributos de fertilidade das três profundidades amostradas, em condições de mata, campo nativo e lavoura (2002 e 2004) são apresentados na Tabela 2.2. O pH H₂O em condições naturais de mata e campo nativo é ácido. Em condições de mata nativa, a presença de Al³⁺ foi evidenciada já na camada de 0 a 0,05m (0,3 cmol_c dm⁻³), aumentando nas camadas de 0,05 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m (1,3 e 1,4 cmol_c dm⁻³, respectivamente).

No campo nativo a presença de Al³⁺ foi mais elevada do que a mata nas três camadas (0 a 0,05 m - 1,0 cmol_c dm⁻³; 0,05 a 0,10 m - 1,5 cmol_c dm⁻³ e 0,10 a 0,20 m - 2,5 cmol_c dm⁻³). Em condições de lavoura, houve a realização de calagem em superfície no ano de 2000 na dose de 3,0 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico, proporcionando a neutralização do Al³⁺ de maneira que, nas duas coletas de solo, esse atributo não esteve presente na camada de 0 a 0,05 m e na camada de 0,05 e 0,10 m. O efeito do calcário também alcançou a camada de 0,10-0,20 m, mesmo com a aplicação superficial, tal como nos resultados obtidos por Silva & Ribeiro (1995).

Os teores de P em condições de mata nativa mostraram-se ligeiramente acima do limite crítico (6,0 mg dm⁻³) na camada de 0 a 0,05 m, porém decrescem nas demais camadas, o que reforça o fato desses solos serem deficientes neste nutriente,, sendo o mesmo verificado no campo nativo. Neste tratamento, os valores de P encontrados variaram de baixo a médios. Em condições de cultivo, há necessidade de adição de fontes externas de fertilizantes como estratégia de melhoria das condições originais. Na coleta de 2002, apenas na camada de 0,10 a 0,20 m os teores de P ficaram abaixo do nível crítico, segundo a proposição da Comissão... (2004). O uso agrícola ocasionou incrementos nos teores de P disponível do solo em relação aos tratamentos referências, a semelhança do registrado anteriormente por Patella, 1980; Perin, et al., 2003.

Os valores de K no solo em condições de mata e campo nativo são classificados como altos na camada de 0 a 0,05 m. Em condições de lavoura, em ambas as determinações, os teores observados foram muito altos para essa mesma camada, permanecendo altos mesmo na camada de 0,10 a 0,20 m de profundidade. Nota-se uma concentração desse elemento na camada de 0 a 0,05 m, expressando a formação de um gradiente desse elemento no perfil de solo, com variações de 4,0, 4,6, 3,0 e de 5,3 vezes, respectivamente, para o solo de mata, de campo nativo, coleta 2002/lavoura e coleta 2004/lavoura, quando comparada à camada de 0 a 0,05 m e de 0,10 a 0,20 m.

Tabela 2.2 – Médias dos atributos do solo em condições de mata, campo nativo e lavoura (2002 e 2004) - Palmeira das Missões (RS).

Variáveis	Mata Nativa	Campo Nativo	Coleta 2002	Coleta 2004
Profundidade de 0 – 0,05 m				
Argila (g dm ⁻³)	65,0	74,0	63,9	-
pH H ₂ O (1:1)	4,8	4,4	6,1	6,5
P (mg dm ⁻³)	6,3	3,2	8,3	21,4
K (mg dm ⁻³)	120	130	274,2	336,5
M O (m/V)	8,0	8,2	4,3	-
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,3	1,0	0,0	0,0
Ca (cmol _c dm ⁻³)	5,3	3,3	7,5	8,7
Mg (cmol _c dm ⁻³)	3,3	1,5	3,4	3,4
CTC efetiva	6,1	9,2	11,6	13,0
Profundidade de 0,5 – 0,10 m				
Argila (g dm ⁻³)	81,0	79,0	68,0	-
pH H ₂ O (1:1)	4,5	4,6	6,0	6,2
P (mg dm ⁻³)	3,2	4,8	7,2	14,2
K (mg dm ⁻³)	52,0	58,0	164,0	167,2
M O (m/V)	5,0	5,0	3,5	-
Al (cmol _c dm ⁻³)	1,3	1,5	0,1	0,0
Ca (cmol _c dm ⁻³)	2,3	3,5	6,5	7,1
Mg (cmol _c dm ⁻³)	1,1	2,0	3,0	3,2
CTC efetiva	4,7	7,0	10,0	10,7
Profundidade de 0,10 – 0,20 m				
Argila (g dm ⁻³)	81,0	86,0	71,5	-
pH H ₂ O (1:1)	4,8	4,6	5,8	5,9
P (mg dm ⁻³)	3,2	2,5	3,4	4,8
K (mg dm ⁻³)	30	28	91,1	62,8
M O (m/V)	4,0	3,7	3,1	-
Al (cmol _c dm ⁻³)	1,4	2,5	0,3	0,1
Ca (cmol _c dm ⁻³)	1,8	1,8	5,2	6,5
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,8	0,9	2,5	2,7
CTC efetiva	4,1	5,3	8,1	9,5

O uso agrícola pareceu mostrar a tendência que já se verificava no campo nativo e mata nativa, ou seja, por ser móvel no solo, o K em sistemas de CN e mata tem elevada ciclagem. O PD também foi muito eficiente em ciclar o K. O K foi um dos únicos nutrientes

que diminuiu sua concentração na camada 0,10-0,20 m entre 2002 e 2004. Parte deste decréscimo pode estar aparecendo na camada de 0 – 0,05 m na amostragem de 2004, devido à reciclagem. A reciclagem biológica de K é favorecida nesta área pela rotação soja/milho e as culturas de cobertura que foram utilizadas, com destaque ao nabo forrageiro.

A MOS teve seus valores reduzidos principalmente na camada de 0 a 0,05 m, quando partiu de uma condição de solo natural com mata nativa (8,0 %) ou campo nativo (8,2 %), para uma situação de lavoura (4,3 % em 2002). Processo semelhante, porém com menor intensidade (30%), ocorreu na camada de 0,5 a 0,10 m e na de 0,10 a 0,20 m (15%). Este fato pode ser atribuído ao aumento na taxa de decomposição, especialmente quando do manejo intensivo com revolvimento (escarificações e gradagens) executado no sistema de semeadura convencional utilizado no passado. Tal situação causou um balanço negativo entre adição e perda de carbono no solo. Como a área em estudo encontra-se atualmente sob SPD, essa tendência de redução no teor de MOS poderá ser minimizada (Perin et al., 2003). A camada de 0 – 0,05 m foi a que mais perdeu estoque de carbono, representando aproximadamente 50% do estoque original. Os anos de PD provavelmente estão contribuindo para recuperar os teores de MOS, porém ainda não foram suficiente para alcançar os teores originais.

Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} (Tabela 2.2) mantiveram-se elevados em todas as camadas amostradas, o que pode ser atribuído à adição de calcário na superfície em anos que antecederam as amostragens. Percebe-se também mobilidade desses elementos no perfil do solo, pois mesmo na camada de 0,10 – 0,20 m o pH estava próximo a 6,0. Esses resultados concordam com observações de Silva & Ribeiro (1995); Tognon et al. (1997); Perin et al. (2003), de que a calagem pode ser eficiente mesmo quando aplicada na superfície do solo.

Na Tabela 2.3 e 2.4 estão descritas as análises estatísticas descritivas para as determinações de 2002 e 2004, respectivamente. De uma maneira geral, comparando os resultados descritos nas tabelas com os valores propostos pela Comissão... (2004), verifica-se que em condições de lavoura a média das 58 determinações em cada ano se encontrava acima dos valores estabelecidos como teor crítico no solo, ou então em faixas de médio a alto. Isso indica que, se fosse considerada uma forma de amostragem de solo baseada na média, uma determinação representando os 57,3 ha de lavoura, a princípio, não indicaria maiores limitações à produtividade de grãos das culturas por fatores químicos.

No entanto, em 2002, o quartil inferior expressou, para os teores de P, que 43% dos pontos amostrados na camada de 0 a 0,05 m apresentavam valores abaixo do teor preconizado como sendo crítico pela Comissão...(2004). Mesmo assim, considerando-se a média da área não haveria pontos com limitações, pois os percentuais do quartil superior puxaram a média

para cima, elevando ou “mascarando” esses valores. Quando a camada considerada foi de 0,5 a 0,10 m, esse percentual ficou ainda mais evidente (62 %). Estes resultados indicam que a representação da situação de fertilidade das áreas por valores médios nem sempre expressa corretamente o que está ocorrendo na área. Neste caso, uma amostragem em grid foi eficiente para expressar a variabilidade existente na área e demonstrar que uma percentagem elevada da área encontrava-se deficiente em P, por exemplo.

Para o Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , os valores encontram-se adequados desde o quartil inferior, mesmo na camada de 0,10 a 0,20 m de profundidade. Portanto, embora exista gradiente de nutrientes entre as camadas, não se justificaria a utilização de preparo do solo para uniformizar verticalmente a área. A MOS está na faixa média (2,6 a 5,0 %) nas três profundidades avaliadas.

Dentre os atributos químicos apresentados nas Tabelas 2.3 e 2.4, o que apresentou menor variabilidade foi o pH, com coeficiente de variação (CV) abaixo de 10% nas três profundidades avaliadas. A MOS expressou uma variabilidade intermediária com CV's entre 10 e 20%. Para o Ca^{2+} , Mg^{2+} e a CTC efetiva, a variabilidade se elevou (CV's entre 20 e 30%). Os teores de P e K apresentaram uma variabilidade elevada, com CV's acima de 40%. Comportamento semelhante tem sido observado por outros pesquisadores (Schlindwein & Anghinoni, 2000; França et al., 2000; Santos & Vasconcellos, 1987). O CV indica a intensidade da amostragem para avaliar a variabilidade existente na área. Embora o P e K estejam entre os atributos que tenham apresentado as maiores variabilidades espaciais, a do K é considerada não manejável, pois está acima dos teores críticos. Já a do P é manejável, pois os teores do quartil superior deveriam ser aumentados.

Tabela 2.3 – Estatística descritiva das propriedades químicas analisadas na área de Palmeira das Missões (RS) - 2002.

Variáveis	Média	DP*	CV**	Mediana	QS***	QI****
Profundidade de 0 – 0,05 m						
Argila (g dm ⁻³)	63,86	11,01	17,20	62,50	72,88	55,25
pH H ₂ O (1:1)	6,14	0,47	7,60	6,11	6,39	5,69
P (mg dm ⁻³)	8,27	6,33	76,50	6,22	9,03	4,82
K (mg dm ⁻³)	274,18	118,70	43,30	258,00	326,25	188,50
M O (m/V)	3,78	0,66	17,40	3,68	4,10	3,28
Al (cmol _c dm ⁻³)	-	-	-	-	-	-
Ca (cmol _c dm ⁻³)	7,51	1,53	20,40	7,55	8,38	6,51
Mg (cmol _c dm ⁻³)	3,44	0,68	19,70	3,48	3,86	2,96
CTC efetiva	11,65	2,03	19,80	11,95	12,88	9,85
Profundidade de 0,5 – 0,10 m						
Argila (g dm ⁻³)	67,97	10,45	15,40	66,17	73,75	60,88
pH H ₂ O (1:1)	6,00	0,53	5,29	5,92	6,36	5,51
P (mg dm ⁻³)	7,23	6,63	9,17	4,58	7,90	2,72
K (mg dm ⁻³)	164,14	81,07	49,40	138,00	194,50	106,00
M O (m/V)	3,13	0,37	11,17	3,07	3,34	2,79
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,30	0,24	78,40	0,16	0,29	0,00
Ca (cmol _c dm ⁻³)	6,51	1,69	26,00	6,38	7,59	5,13
Mg (cmol _c dm ⁻³)	2,96	0,72	24,20	3,05	3,46	2,31
CTC efetiva	9,96	2,35	23,50	9,95	11,58	7,83
Profundidade de 0,10 – 0,20 m						
Argila (g dm ⁻³)	71,54	10,31	14,40	71,00	76,88	65,81
pH H ₂ O (1:1)	5,81	0,50	8,60	5,79	6,16	5,33
P (mg dm ⁻³)	3,36	2,20	65,50	2,46	3,71	1,43
K (mg dm ⁻³)	91,09	42,69	46,90	90,00	117,50	48,50
M O (m/V)	2,78	0,50	17,80	2,85	3,03	2,53
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,59	0,46	77,70	0,37	0,70	0,25
Ca (cmol _c dm ⁻³)	5,20	1,52	29,00	5,28	6,16	4,03
Mg (cmol _c dm ⁻³)	2,52	0,73	29,00	2,48	2,94	2,03
CTC efetiva	8,15	1,97	24,20	8,18	9,45	6,54

*Desvio Padrão; ** Coeficiente de variação (%); *** Quartil Superior; **** Quartil Inferior;

Tabela 2.4 – Estatística descritiva das propriedades químicas analisadas na área de Palmeira das Missões (RS) - 2004.

Variáveis	Média	DP*	CV**	Mediana	QS***	QI****
Profundidade de 0 – 0,05 m						
pH H ₂ O (1:1)	6,46	0,39	6,10	6,43	6,64	6,13
P (mg dm ⁻³)	21,38	12,86	60,10	16,22	22,83	12,43
K (mg dm ⁻³)	334,95	57,63	17,20	342,00	379,00	170,00
M O (m/V)	-	-	-	-	-	-
Al (cmol _c dm ⁻³)	-	-	-	-	-	-
Ca (cmol _c dm ⁻³)	8,68	2,30	26,40	7,75	9,79	6,39
Mg (cmol _c dm ⁻³)	3,42	0,76	22,30	3,26	3,94	2,81
CTC efetiva	12,97	2,93	22,60	12,07	14,58	10,16
Profundidade de 0,5 – 0,10 m						
pH H ₂ O (1:1)	6,23	0,51	8,30	6,12	6,55	5,82
P (mg dm ⁻³)	14,33	9,40	65,60	10,75	20,18	6,00
K (mg dm ⁻³)	168,72	71,77	42,50	166,25	209,17	103,75
M O (m/V)	-	-	-	-	-	-
Al (cmol _c dm ⁻³)	-	-	-	-	-	-
Ca (cmol _c dm ⁻³)	7,07	1,95	27,60	6,27	7,59	5,17
Mg (cmol _c dm ⁻³)	3,18	0,74	23,40	3,14	3,77	2,57
CTC efetiva	10,65	2,47	23,20	10,05	11,47	8,36
Profundidade de 0,10 – 0,20 m						
pH H ₂ O (1:1)	5,94	0,53	8,80	5,85	6,25	5,51
P (mg dm ⁻³)	6,76	4,45	65,80	5,33	9,28	3,03
K (mg dm ⁻³)	89,72	43,12	48,10	71,25	123,00	55,75
M O (m/V)	-	-	-	-	-	-
Al (cmol _c dm ⁻³)	-	-	-	-	-	-
Ca (cmol _c dm ⁻³)	6,47	1,87	28,80	5,86	7,29	4,57
Mg (cmol _c dm ⁻³)	2,74	0,74	27,10	2,73	3,27	2,17
CTC efetiva	9,49	2,32	24,40	9,32	10,68	7,40

*Desvio Padrão; ** Coeficiente de variação (%); *** Quartil Superior; **** Quartil Inferior;

A espacialização dos dados na forma de mapas revelou comportamentos distintos entre os atributos avaliados. Na área em estudo há predominância de textura argilosa (> 60% de argila). Ocorre um gradiente textural entre a camada de 0 a 0,05 m e de 0,10 a 0,20 m (Figura 2.3). Na camada de 0 a 0,05 m aproximadamente 65% (37,31 ha) da área apresenta

teores de argila superior a 60%, enquanto que na camada de 0,10 a 0,20 m esse valor é de 92% (53,20 ha), portanto um acréscimo de 27% em área.

As Figuras 2.4, 2.5 e 2.6 reforçam os resultados discutidos anteriormente sobre os incrementos nos valores de pH em água, Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo, quando comparados os resultados da amostragem de 2002 com a de 2004. Em 2002, o pH encontrava-se baixo em 15,16% da área, sendo reduzido para 5,46% em 2004, ou seja, uma evolução de 64%. Isso também se evidenciou para Ca^{2+} e Mg^{2+} , propiciando melhorias no ambiente radicular, alterações nos atributos químicos em profundidade e, conseqüentemente, incrementos no rendimento das culturas (Pottker & Ben, 1998; Rheinheimer et al., 2000; Amaral et al., 2002). O manejo do solo, realizado na superfície, estaria alterando a variabilidade espacial dos atributos químicos ao longo do perfil.

Nas Figuras 2.5 e 2.6 encontram-se as distribuições espaciais horizontal e vertical dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo nas três profundidades amostradas em 2002 e 2004. Não se comprovou a existência de valores abaixo dos teores críticos no solo, tanto para o Ca^{2+} como para o Mg^{2+} , mesmo na camada de 0,10 a 0,20 m. O Mg^{2+} em 2002 (dois anos após a realização da calagem, já apresentava indícios que a camada de 0,10 a 0,20 m já estava corrigida, enquanto o Ca^{2+} ainda apresentava áreas a serem corrigidas. Esse fato pode estar ligado aos altos teores de K nas camadas de 0 – 0,05 m e 0,05 a 0,10 m, o que torna o Mg^{2+} mais propenso ao seu deslocamento das cargas negativas ficando na solução do solo e, conseqüentemente, deslocando-se para camadas mais profundas (Della Flora, 2006).

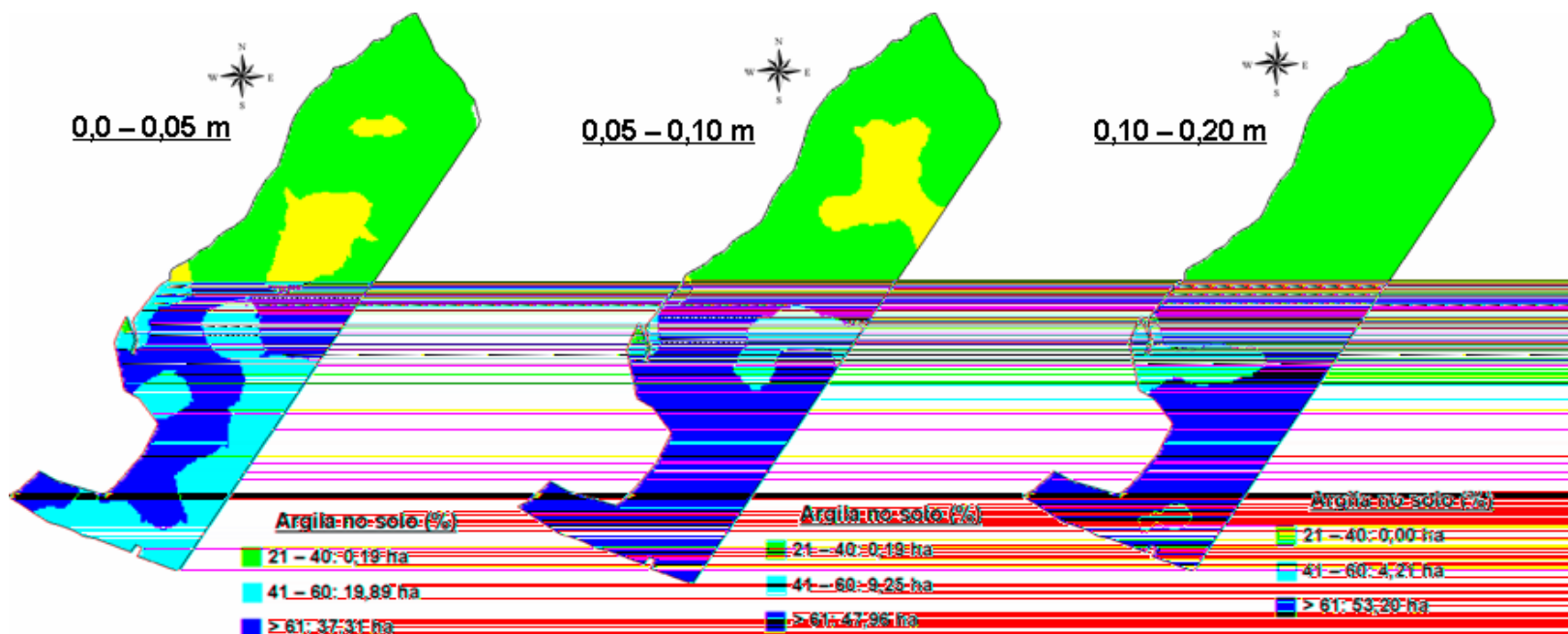


Figura 2.3 – Distribuição espacial horizontal e vertical dos teores de argila no solo em três profundidades de amostragem - Palmeira das Missões (RS).

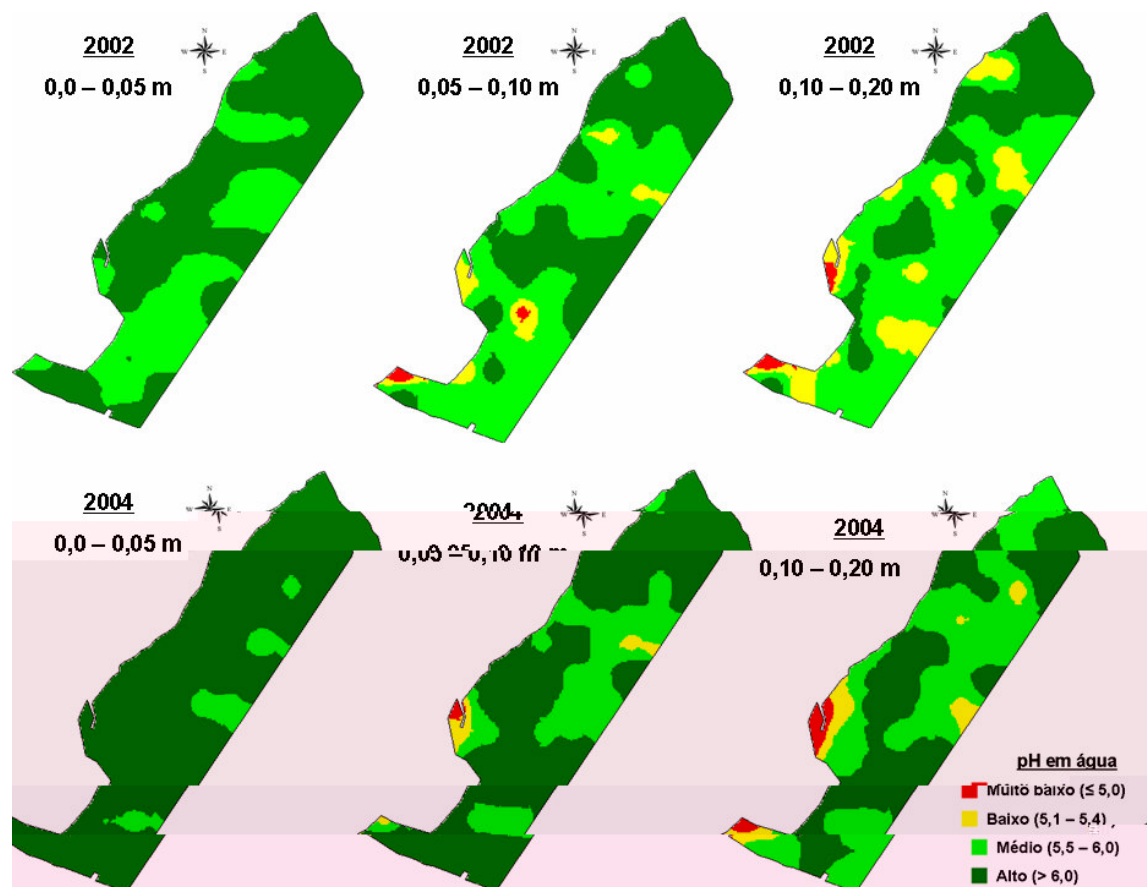


Figura 2.4 – Distribuição espacial horizontal e vertical do pH em água do solo em três profundidades e em dois anos de amostragem - Palmeira das Missões (RS).

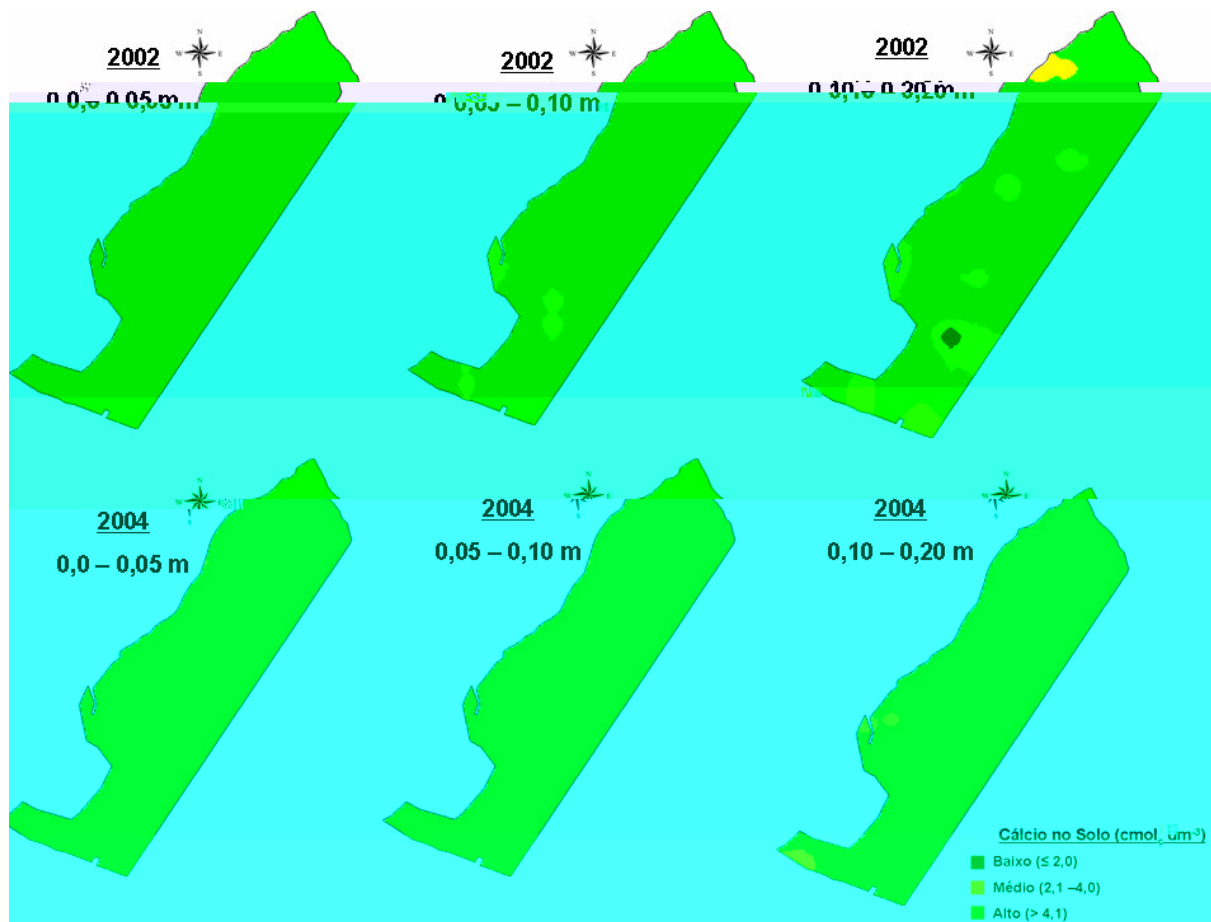


Figura 2.5 – Distribuição espacial horizontal e vertical dos teores de cálcio no solo em três profundidades de amostragem, na coleta de 2002 - Palmeira das Missões (RS).

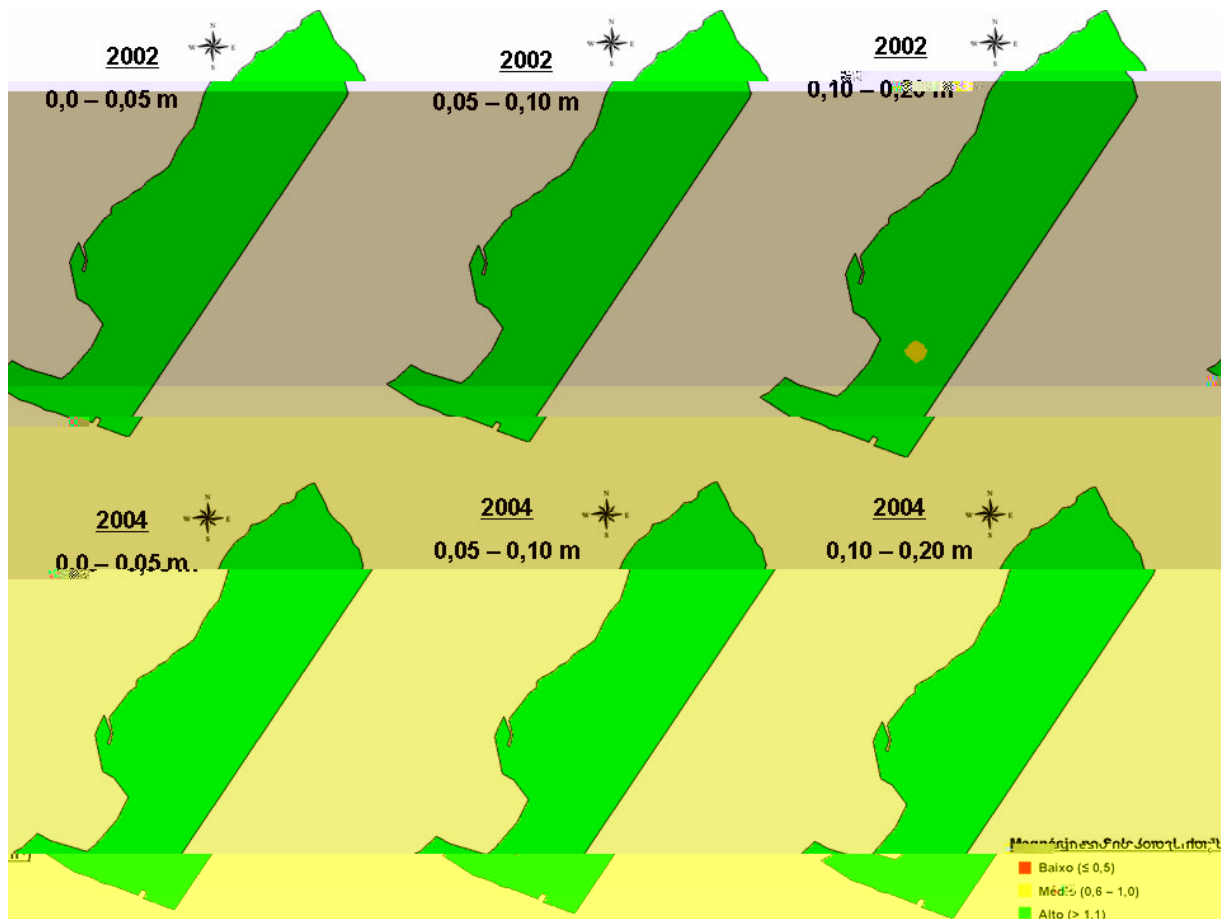


Figura 2.6 – Distribuição espacial horizontal e vertical dos teores de magnésio no solo em três profundidades de amostragem, na coleta de 2002 - Palmeira das Missões (RS).

Tabela 2.5 – Situação da área referente aos valores de pH em água, cálcio e magnésio no solo em relação à classificação da Comissão...(2004) – Palmeira das Missões/RS.

Classes de interpretação*	pH em água											
	0 – 0,05 m				0,05 -0,10 m				0,10 – 0,20 m			
	2002 (ha)	2004 (ha)	Situação da área (%)		2002 (ha)	2004 (ha)	Situação da área (%)		2002 (ha)	2004 (ha)	Situação da área (%)	
			2002	2004			2002	2004			2002	2004
Muito Baixo ($\leq 5,0$)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	0,20	0,75	0,35	0,78	1,17	1,36	2,04
Baixo (5,1 – 5,4)	0,00	0,00	0,00	0,00	3,58	1,32	6,25	2,30	8,69	3,13	15,16	5,46
Médio (5,5 - 6,0)	21,95	4,26	38,30	7,43	28,41	16,71	49,57	29,16	30,61	28,06	53,41	48,96
Alto ($> 6,1$)	35,36	53,05	61,70	92,57	24,90	39,08	43,45	68,19	17,24	24,96	30,08	43,55
Cálcio (mg dm^{-3})												
Baixo ($\leq 2,0$)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,58	0,00	0,00
Médio (2,1 - 4,0)	0,00	0,00	0,00	0,00	1,99	0,00	3,47	0,00	8,31	14,50	1,08	1,88
Alto ($> 4,1$)	57,31	57,31	100	100	55,32	57,31	96,53	100	48,67	84,92	56,23	98,12
Magnésio (mg dm^{-3})												
Baixo ($\leq 0,5$)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Médio (0,6 – 1,0)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	0,00	0,64	0,00
Alto ($> 1,1$)	57,31	57,31	100	100	57,31	57,31	100	100	56,94	57,31	99,36	100

*Comissão de química e fertilidade do solo – RS/SC, (2004).

A camada de 0 a 0,05 m apresentava em 2002 (Tabela 2.6) apenas 11,93% (6,84 ha) da área com teores de P altos. Em 2004, esse valor passou a ser 88,83% (50,91 ha) da área. Nas demais camadas, também houve melhorias com a implantação da taxa variada. Na camada de 0,05 a 0,10 m em 2002 valores altos foram constatados em 16,67% da área, enquanto que, em 2004, esse valor foi de 56,30%. Na camada de 0,10 a 0,20 m houve melhoria em 2,41 %.

Para a camada de referência (0 – 0,10 m), em 2002, os teores baixos de P perfaziam 21,87% , teores médios 28,27%, teores altos 38,50%, e os teores muito altos 11,38% da área. Em 2004, após três intervenções em taxa variada de fertilizantes, não se observou teores baixos, os teores médios perfaziam 0,45% da área, os teores altos 19,0% e 80,54% da área corrigida ou elevada a teores muito altos (Tabela 2.6).

Em relação ao K (Tabela 2.6), nos dois anos de amostragem não se observaram teores muito baixo ($21 - 40 \text{ mg dm}^{-3}$). Em contrapartida, valores muito altos ($> 120 \text{ mg dm}^{-3}$) caracterizavam-se, já em 2002, na camada de 0 – 0,05 m, com 97,26% da área, atingindo 100% em 2004. Para a camada de 0,05 – 0,10 m, nessa faixa (teores muito altos) houve um pequeno decréscimo (1,93%) quando comparada à amostragem de 2002 e 2004. Porém, quando desse mesmo comparativo com a camada de 0,10 – 0,20 m, esse valor foi de 19,70%.

Como as adições de fertilizantes foram baseadas em zonas de manejo (Figura 2.1 e Tabela 2.1), procurou-se quantificar a evolução dos teores de P e K nas três zonas potenciais produtivas (Tabela 2.7). Para o P, em todas as profundidades avaliadas houve melhoria na fertilidade do solo. Para a zona de alto rendimento, a recuperação do P na forma disponível (Mehlich-1) foi de 34,75 % na camada de 0 a 0,20 m, sendo que a recuperação foi 20,58 % para a camada de 0 a 0,05 m, 11,28 % para a camada de 0,05 a 0,10 m e apenas 2,8 % para a camada de 0,10 a 0,20 m.

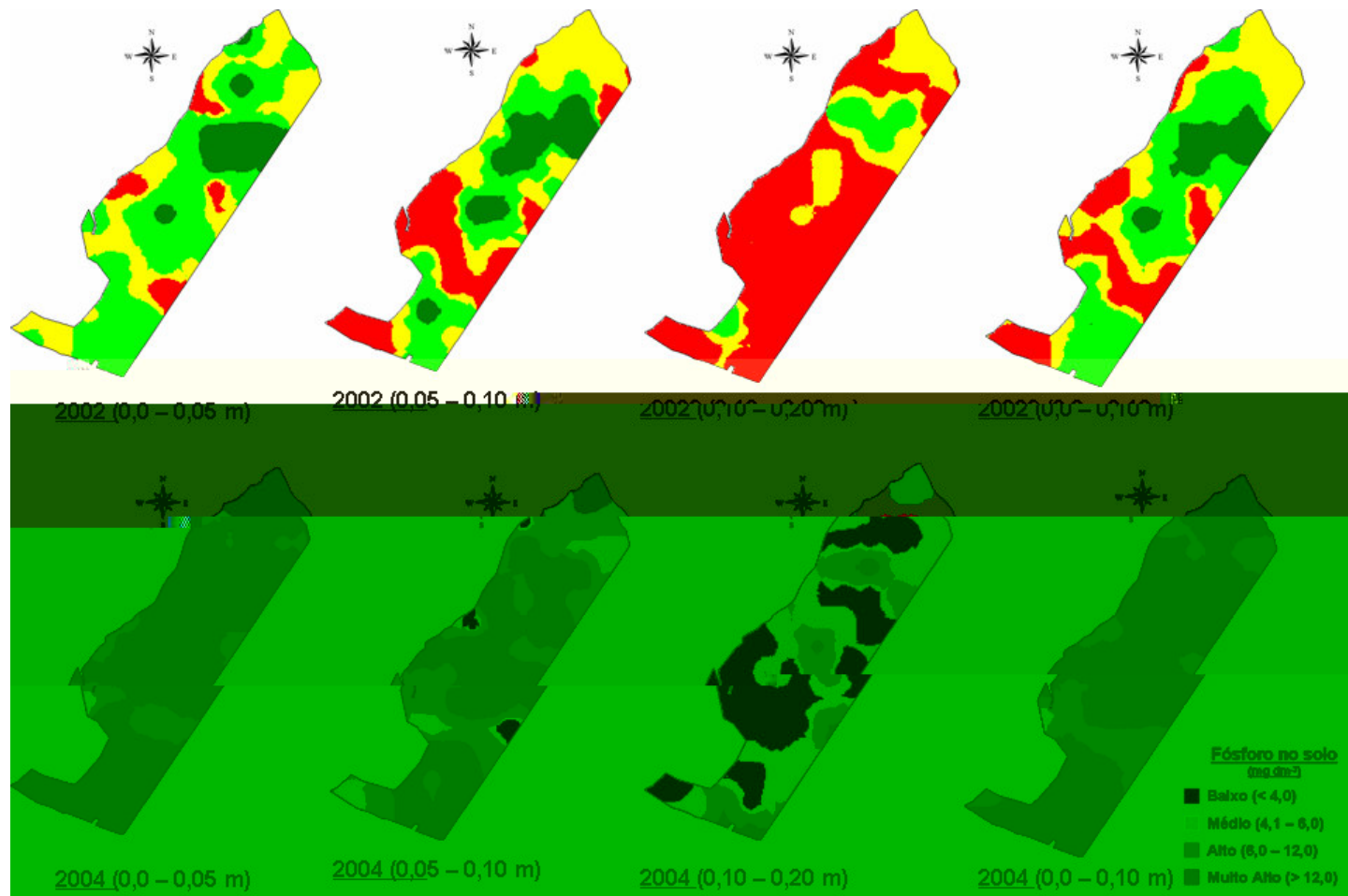


Figura 2.7 – Distribuição espacial horizontal e vertical dos teores de fósforo no solo em três profundidades e dois anos de amostragem - Palmeira das Missões (RS).

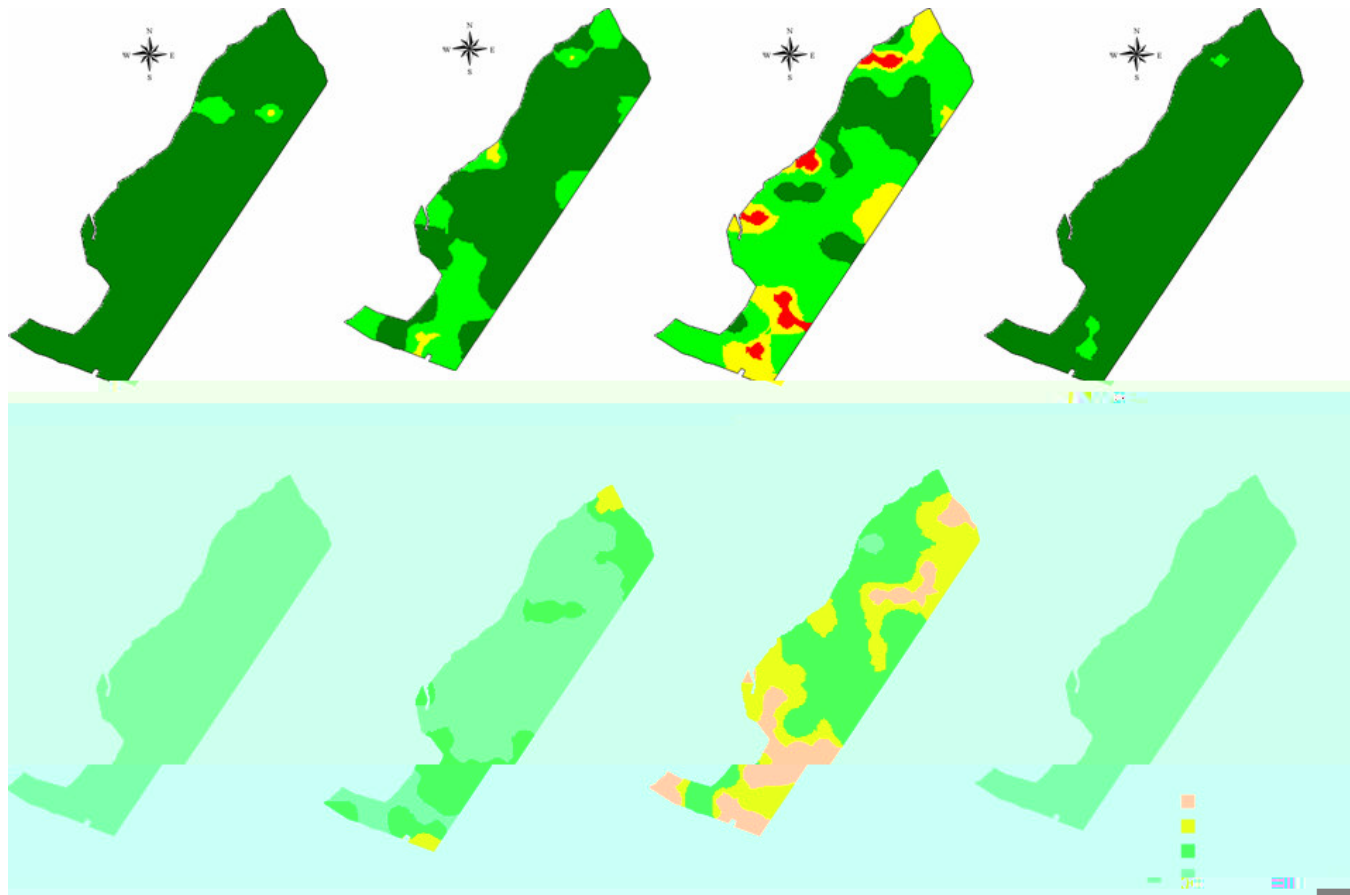


Figura 2.8 – Distribuição espacial horizontal e vertical dos teores de potássio no solo em três profundidades e dois anos de amostragem - Palmeira das Missões (RS).

Tabela 2.6 – Situação da área referente aos teores de fósforo e de potássio em relação à classificação da Comissão...(2004) – Palmeira das Missões/RS.

Teores de fósforo no solo												
Classes de interpretação* (mg dm ⁻³)	0 – 0,05 m				0,05 -0,10 m				0,10 – 0,20 m			
	2002 (ha)	2004 (ha)	Situação da área (%)		2002 (ha)	2004 (ha)	Situação da área (%)		2002 (ha)	2004 (ha)	Situação da área (%)	
			2002	2004			2002	2004			2002	2004
Muito Baixo ($\leq 2,0$)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Baixo (2,1 - 4,0)	4,22	0,00	7,36	0,00	15,44	0,97	26,95	1,69	39,83	23,98	69,50	41,84
Médio (4,1 - 6,0)	16,15	0,27	28,18	0,47	16,42	5,51	28,66	9,62	12,80	20,97	22,33	36,59
Alto (6,1 - 12,0)	30,11	6,13	52,53	10,70	15,89	18,56	27,73	32,39	4,68	10,98	8,17	19,16
Muito Alto ($> 12,0$)	6,84	50,91	11,93	88,83	9,55	32,26	16,67	56,30	0,00	1,38	0,00	2,41

Teores de potássio no solo												
Classes de interpretação (mg dm ⁻³)	0 – 0,05 m				0,05 -0,10 m				0,10 – 0,20 m			
	2002 (ha)	2004 (ha)	Situação da área (%)		2002 (ha)	2004 (ha)	Situação da área (%)		2002 (ha)	2004 (ha)	Situação da área (%)	
			2002	2004			2002	2004			2002	2004
Muito Baixo (≤ 20)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Baixo (21 - 40)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00	0,61	3,16	11,56	5,51	20,17
Médio (40 - 60)	0,06	0,00	0,10	0,00	0,72	1,37	1,26	2,39	9,62	18,42	16,79	32,14
Alto (61 - 120)	1,51	0,00	2,63	0,00	14,93	15,04	26,06	26,24	32,65	26,74	56,97	46,66
Muito Alto (> 120)	55,74	57,31	97,26	100,0	41,65	40,55	72,69	70,76	11,88	0,59	20,73	1,03

* Comissão de química e fertilidade do solo – RS/SC, (2004).

Com as adubações houve um incremento de P na camada de 0 a 0,05 de 158 %, na camada 0,05 a 0,10 m de 97 % e na camada de 0,10 a 0,20 m de 41 %, quando comparada a avaliação de 2002 com a avaliação de 2004 (Tabela 2.7). Portanto, como era esperado o P aplicado na superfície teve maior efeito nas primeiras camadas, porém verifica-se uma mobilização deste nutriente no perfil. Isso pode estar ligado ao uso de sulcador por ocasião da semeadura, e mesmo as doses de fertilizantes aplicados.

Para o K na camada de 0 a 0,05 m, o incremento foi de 20 %, na camada 0,05 a 0,10 m de 2 % e na camada de 0,10 a 0,20 m houve uma redução de 31 %, quando comparada à avaliação de 2002 com a avaliação de 2004, ou seja, para o K, está ocorrendo um balanço negativo na camada de 0,10 a 0,20 m, independente do potencial de produtividade (Tabela 2.7). Este fato pode estar associado à elevada exportação, ao processo de reciclagem pelas culturas de cobertura e, mesmo, perdas por lixiviação. Por outro lado, na camada de 0 a 0,05 m, verifica-se um balanço positivo devido ao processo de reciclagem.

A formação desses gradientes (variabilidade vertical), do ponto de vista de manejo, não necessariamente implica em perdas no rendimento, uma vez que estudos como de Klepker & Anghinoni (1995) mostraram que, se parte das raízes das plantas estiverem localizadas em camadas de solo com teores acima dos níveis críticos, a resposta das culturas dar-se-á em função das mesmas, desde que suficiente para suprir as necessidades das plantas e, ainda, que as condições climáticas sejam favoráveis. Para Schindwein & Anghinoni (2000 b), a camada superior do solo (0 – 0,10 m), a qual concentra a maior quantidade de raízes e com maior capacidade de absorção dos nutrientes, pode suprir essa demanda e determinar a performance das plantas.

Na camada de referência (0 – 0,10 m) os teores de P em 2002 variaram de 2,0 a 28,0 mg dm⁻³ apresentando um CV de 71,15% e, em 2004, de 5,2 a 50,3 mg dm⁻³ com um CV de 50,46% (Tabela 2.7). O K variou em 2002 de 97 a 470 mg dm⁻³ (CV=36,65%) e, em 2004, de 134 a 380 mg dm⁻³ (CV= 22,26%). Esses resultados comprovam a eficiência do manejo em taxa variada, uma vez que se alcançou o propósito inicial da adoção dessa prática de manejo de elevar os teores de P na camada referência (0 a 0,10 m) a uma faixa de 12 a 16 mg dm⁻³, enquanto que para o K, entre 150 a 200 mg dm⁻³ (Tabela 2.3 e 2.4). Mesmo assim, cabe ressaltar, baseado nos resultados obtidos, que novos passos devem ser dados no sentido de evitar a elevação excessiva dos níveis de nutrientes no solo, com prováveis ocorrências de desequilíbrios nutricionais. Tanto para o P como para o K, os maiores ganhos foram obtidos na zona de baixa produtividade. Esses ganhos devem-se as adubações realizadas e à menor exportação de nutrientes.

Tabela 2.7 – Evolução dos teores de fósforo e potássio em três zonas potenciais produtivas, Palmeira das Missões (RS).

TEORES DE FÓSFORO NO SOLO (mg dm⁻³)				
Zona de Alta Produtividade (30,4 ha)				
Profundidades de amostragem				
ANOS	0 a 0,05 m	0,05 a 0,10 m	0,10 a 0,20 m	0 a 0,10 m
2002	9,15	9,42	3,54	8,87
2004	23,25	17,15	5,52	20,18
Evolução	14,10	7,73	1,98	11,31
Zona de Média Produtividade (20 ha)				
2002	6,42	5,02	3,46	5,38
2004	16,23	11,33	4,42	13,77
Evolução	9,81	6,31	0,96	8,39
Zona de Baixa Produtividade (7 ha)				
2002	6,03	4,96	3,51	5,05
2004	18,40	12,06	4,84	15,25
Evolução	12,37	7,10	1,33	10,20
TEORES DE POTÁSSIO NO SOLO (mg dm⁻³)				
Zona de Alta Produtividade (30,4 ha)				
ANOS	0 a 0,05 m	0,05 a 0,10 m	0,10 a 0,20 m	0 a 0,10 m
2002	269,07	168,06	93,32	218,56
2004	337,82	166,68	61,16	252,25
Evolução	68,75	- 1,38	- 32,16	33,69
Zona de Média Produtividade (20 ha)				
2002	290,31	151,50	84,98	220,93
2004	322,67	150,51	57,71	236,59
Evolução	32,36	- 0,99	- 27,27	15,66
Zona de Baixa Produtividade (7 ha)				
2002	262,34	166,17	92,79	214,25
2004	335,47	194,52	76,87	224,99
Evolução	73,13	28,35	- 15,92	10,74

A distribuição espacial horizontal e vertical dos teores de MOS (Figura 2.9), quando da utilização dos intervalos de classe propostos pela Comissão..., (2004), expressaram uniformidade em quase toda a área. Para as três camadas avaliadas, a classe média (2,6 a 5,0%) representou mais de 85% da área. Como nessa classe há uma variação de 200% entre o

limite inferior (2,6%) e o limite superior (5,0%) optou-se por uma modificação nas classes com intervalos variando a cada 1,0%.

Percebe-se que esse novo critério (denominado na Figura 2.9 de Santi 2006) promoveu uma grande modificação na conformação da distribuição horizontal desse atributo no mapa. Do ponto de vista interpretativo, essas alterações nos mapas podem gerar alterações nas proposições de manejo, como a definição de doses de nitrogênio. Como esse assunto é ainda pouco estudado na agricultura de precisão sugere-se que novos estudos sejam realizados no sentido de quantificar as implicações práticas desses intervalos de classe propostos pela Comissão...,(2004), quando da transposição para a forma de mapas.

A distribuição espacial horizontal e vertical da CTC efetiva, Figura 2.10 foi expressa nos dois anos de amostragem, como média para as três profundidades.

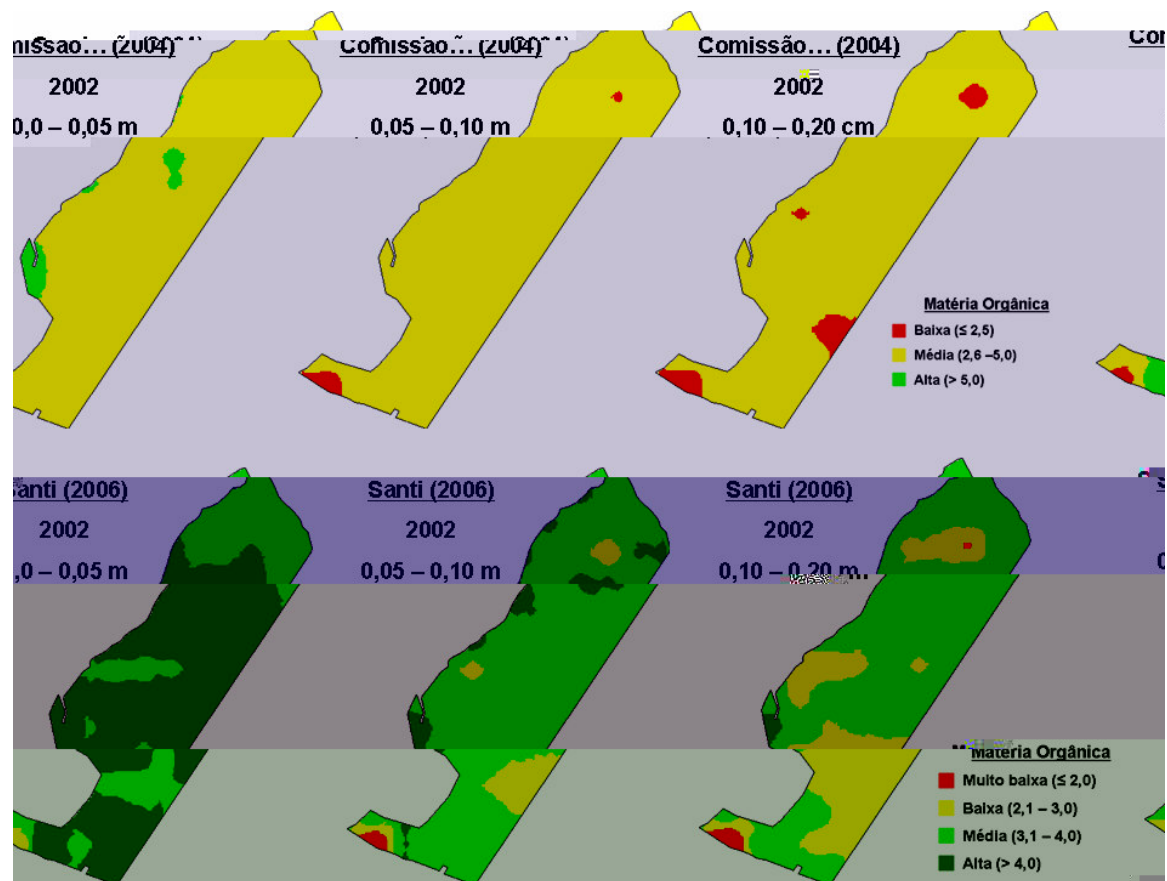


Figura 2.9 – Distribuição espacial horizontal e vertical dos teores de matéria orgânica no solo, quando da utilização dos intervalos de classe propostos pela Comissão....(2004) e de uma modificação nas classes - Palmeira das Missões (RS).

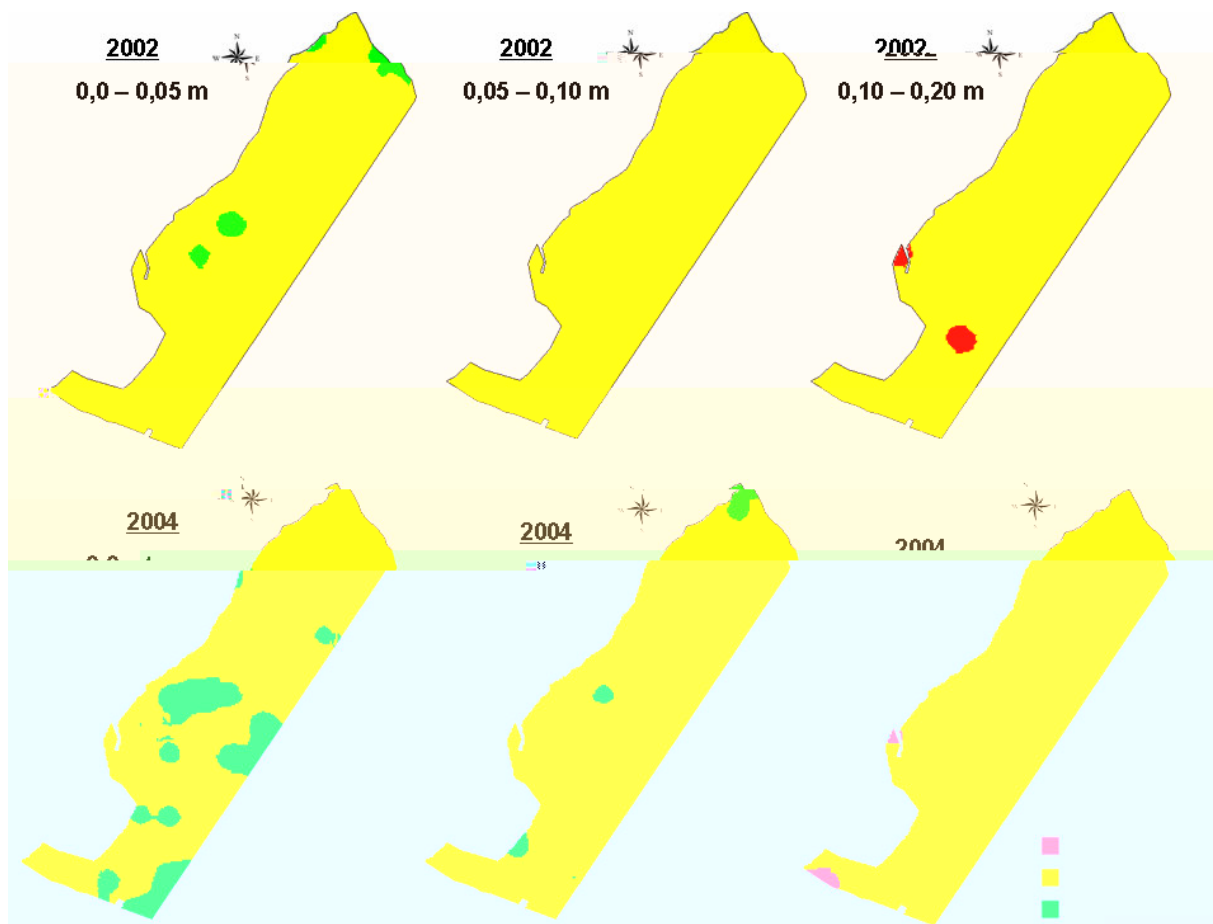


Figura 2.10 – Distribuição espacial horizontal e vertical da capacidade de troca de cátions (CTC efetiva) no solo em três profundidades, na amostragem de 2002 - Palmeira das Missões (RS).

Tabela 2.8- Quantidade de P_2O_5 e de K_2O (descontando as exportações) para se elevar o teor em 1 mg dm^{-3} de fósforo e potássio em três zonas de manejo e quatro profundidades de amostragem, Palmeira das Missões (RS).

P_2O_5 (mg kg^{-1})				
Zona Produtiva	0 a 0,05 m	0,05 a 0,10 m	0,10 a 0,20 m	0 a 0,10 m
Alta	9,72	17,72	69,19	12,11
Média	13,94	21,71	142,71	16,33
Baixa	11,08	19,30	103,01	13,43
Média Geral				14,00
K_2O (mg kg^{-1})				
Zona Produtiva	0 a 0,05 m	0,05 a 0,10 m	0,10 a 0,20 m	0 a 0,10 m
Alta	0,95	- 47,10	- 2,02	1,93
Média	2,35	- 76,77	- 2,79	4,85
Baixa	1,30	3,35	- 5,97	8,85
Média Geral				5,21

Baseado na Tabela 2.1 (adições de fertilizantes realizadas e as exportações de P e K nas três zonas potenciais produtivas) foi possível determinar para cada uma das zonas potenciais produtivas a quantidade de P_2O_5 e de K_2O necessária para elevar um mg dm^{-3} no solo (Tabela 2.8). Nota-se que essa característica é uma função dos níveis de fertilidade no solo (sua qualidade química) e da profundidade de amostragem. Para o P, mesmo com adubações elevadas não foi possível elevar a fertilidade na camada de 0,10 a 0,20 m. Na camada referência (0 a 0,10 m), o valor médio de construção de teores foi de 14 kg de $P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$ para elevar um mg dm^{-3} de P no solo. Para o K o valor encontrado foi de 5,21 kg de $K_2O \text{ ha}^{-1}$ para elevar um mg dm^{-3} de K no solo.



Figura 2.11 – Relação entre kg produzido de grãos por kg aplicado de P_2O_5 e de K_2O para as culturas do milho, trigo e soja - Palmeira das Missões (RS).

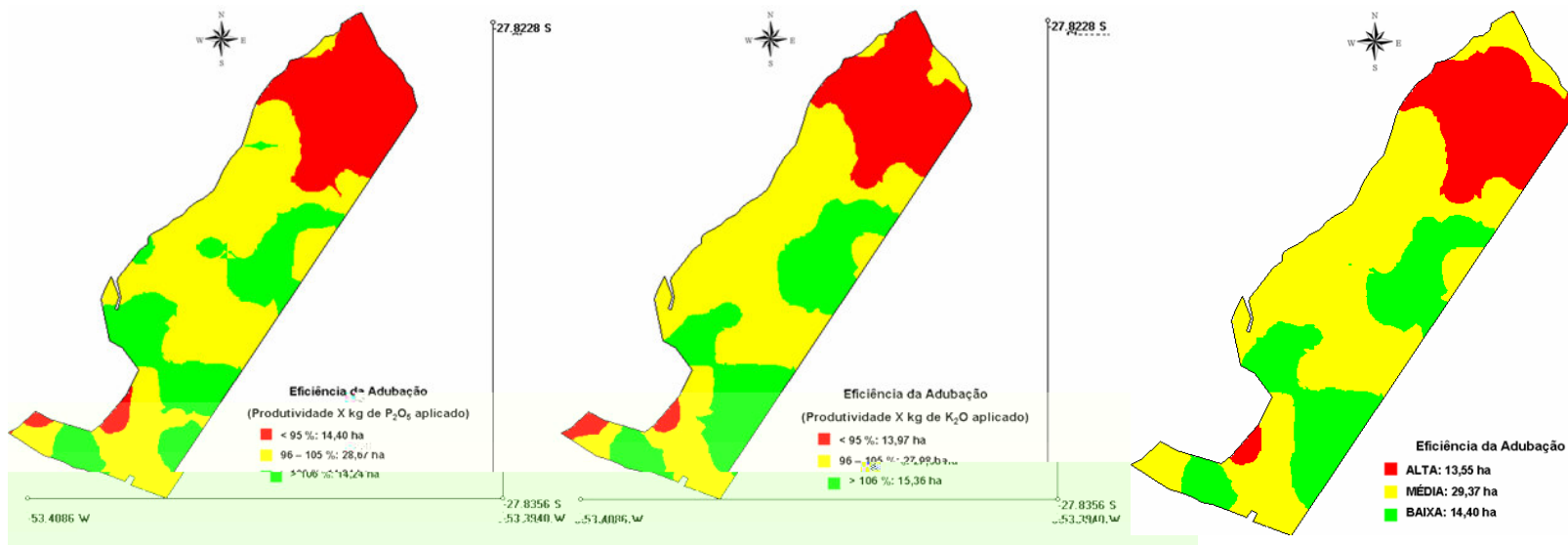


Figura 2.12 – Eficiência relativizada (sobreposição dos mapas das culturas do milho, trigo e soja) da relação entre kg aplicado de P₂O₅ e K₂O por kg produzido de grãos - Palmeira das Missões (RS).

Na Figura 2.11 encontra-se a eficiência, por cultura, na utilização do P_2O_5 e do K_2O aplicado na área. As maiores relações kg produzido por kg aplicado foram observadas na cultura do milho, sendo que em 34 % da área essa relação superou os 150 kg para o K e 100 kg para o P. Para as culturas do trigo e da soja as relações entre o K e P foram mais equilibradas.

Quando da eficiência relativizada (Figura 2.12) considerando as três culturas (sobreposição dos mapas de produtividade), percebe-se que há na área uma similaridade para o P e o K entre os locais de maior relação kg produzido por kg aplicado. Os locais de baixa relação perfazem 25 % da área, média relação 50 % e alta relação 25 %.

A Figura 2.13 demonstra haver relação elevada ($R^2 > 0,99$) entre a distribuição horizontal (variabilidade) da eficiência relativa de P_2O_5 aplicado/kg produzido e da eficiência relativa de K_2O aplicado/kg produzido na área. Os resultados expressaram duas curvas sendo que a maior eficiência relativa do K_2O ocorre com uma eficiência de P_2O_5 de 113 %, abaixo da eficiência máxima (120%) obtida para esse nutriente. Por esse comportamento, provável que mesmo em zonas onde os teores de fósforo e potássio já estejam acima dos teores tidos como críticos pela Comissão...(2004) ainda haja respostas às adições no solo.

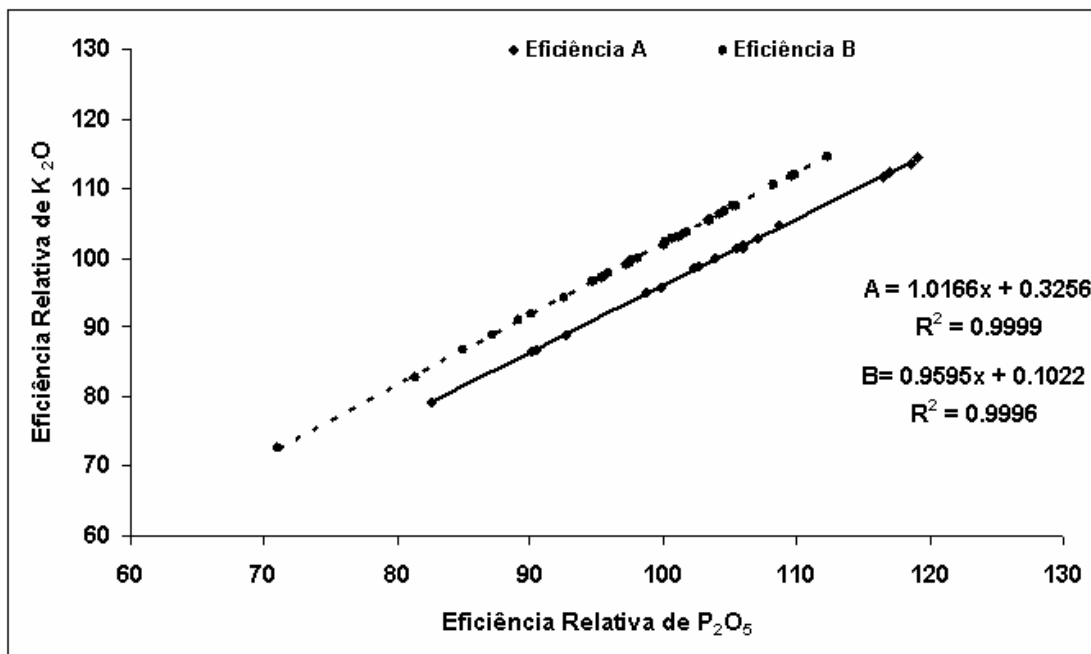


Figura 2.13 – Relação entre a eficiência relativa de utilização de P_2O_5 e K_2O - Palmeira das Missões (RS).

Quando da relação entre a eficiência do fósforo e do potássio nas zonas com alta, média e baixa produtividade (Figura 2.14) se confirmam os resultados da Figura 2.12 quanto a variabilidade na eficiência dos nutrientes na área. Sendo assim, a probabilidade que em alguns

locais o rendimento relativo das culturas soja, trigo e milho se mantêm abaixo de 90% do potencial de rendimento, o que pode ser uma das causas dos baixos rendimentos médios. Esses resultados colaboram com as proposições de Schlindwein (2003) de que doses maiores de fósforo e potássio que as preconizadas pela Comissão...(2004) podem aumentar mais rapidamente os teores no solo e o rendimento das culturas quando considerado um potencial de rendimento maior com uma necessidade maior de nutrientes para o crescimento e exportação.

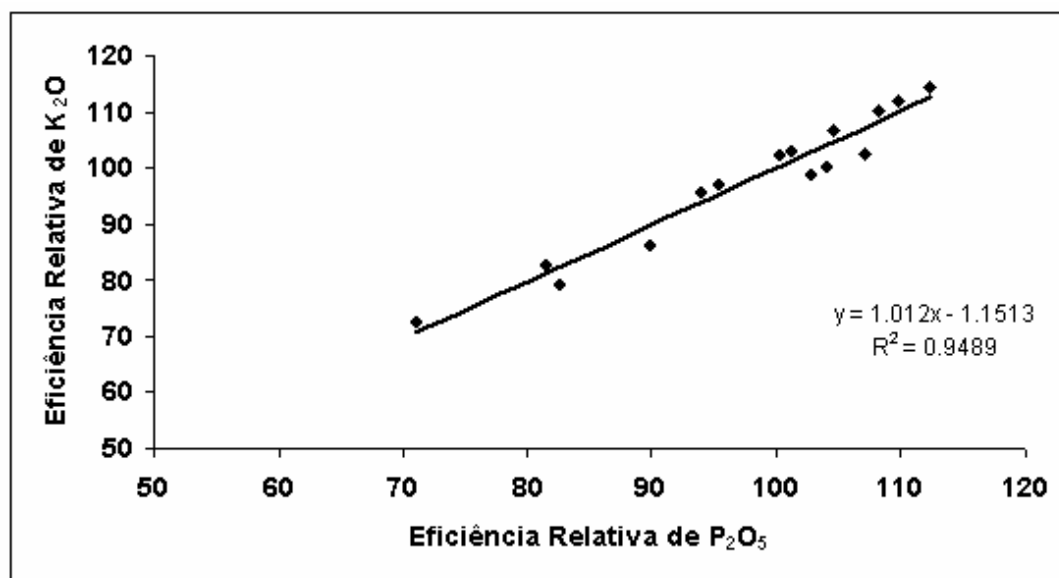


Figura 2.14 – Relação entre a eficiência relativa de utilização de P_2O_5 e K_2O em três zonas de manejo- Palmeira das Missões (RS).

2.4 CONCLUSÕES

A diminuição no teor de MOS com o uso agrícola foi mais pronunciada na camada superficial, quando comparado com os solos de mata e campo nativo (referências).

A re-amostragem do solo após dois anos da adoção de práticas de manejo baseadas em ferramentas da agricultura de precisão como aplicações em taxa variada foram eficientes em detectar as modificações na fertilidade do solo.

Os incrementos de P e K foram maiores na camada superficial de 0 a 0,05 m.

Mesmo no SPD consolidado, foi possível constatar movimento vertical de Ca^{2+} e Mg^{2+} e P. O K apresentou reciclagem.

O quartil inferior mostrou que valores médios de atributos na área não expressam a realidade da área e comprova a variabilidade espacial dos nutrientes, apesar de alguns elementos apresentarem valores acima do teor tido como crítico.

A fertilização a taxa variável em zonas foi eficiente na correção horizontal dos teores de P e K no solo. Porém, na camada mais superficial, observaram-se valores muito altos, indicando que a dose de fertilizante utilizada pode ter sido muito alta.

Na camada referência (0 a 0,10 m), o valor médio de construção de teores foi de 14 kg de $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ para elevar os teores em um mg dm^{-3} de P. Para K o valor encontrado foi de 5,21 kg de $\text{K}_2\text{O ha}^{-1}$ para elevar os teores em um mg dm^{-3} de K.

Na área estudada, as relações kg produzido por kg aplicado de P_2O_5 e de K_2O apresentam uma distribuição horizontal similar, sendo 25 % da área com baixa relação, 50 % com média relação e 25 % com alta relação.

2.5 AGRADECIMENTOS

A Fundação Agrisus – Agricultura Sustentável e sua conveniada a Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ) que financiam esse projeto. A prestatividade e colaboração, na obtenção dos dados, proporcionada pelos produtores José Ari Sulzbach e seu filho Luciano Sulzbach (Granja São Bento – Palmeira das Missões/RS). O auxílio na obtenção dos dados, proporcionada pela Dr^a. Fabiane Vezzani, Dr. Evandro Spagnollo, os Eng^{os}. Agr^{os}. Gustavo Luiz Bellé, Ricardo Batista Cerezer Dellamea, Cláudio Luis Lemainski

e os graduandos em agronomia da UFSM: Luciano Zucuni Pés, Luciano Pizzuti, Ricardo Bergamo Schenato e Ricardo Fuber. A prestatividade e colaboração do professor Dr. Enio Giotto no desenvolvimento de novas ferramentas auxiliares e a aprendizagem do programa CR – Campeiro5.

2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, A. S., ANGHINONI, I. & DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.28, p.115-123, 2002.

BISCARO, A.S. & GARZELLA, T.C. **Agricultura de precisão: uma valiosa ferramenta para redução de contaminação ambiental decorrente do uso de fertilizantes nitrogenados**. 2^o CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO. CD-Room, São Pedro, SP. ESALQ/USP. 2006.

CARVALHO, M.P.; TAKETA, E.Y.; FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, p.695-703, 2003.

COELHO, A.M., Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: **Tópicos em Ciência do Solo**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa. v.3. 249 p. 2003.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3.ed. Passo Fundo. **SBCS- Núcleo Regional Sul/ UFRGS**, 400p. 2004.

DALLMEYER, A.U.; SCHLOSSER, J.F. Mecanización para la agricultura de precisión. **In: Agricultura de precisión – introducción al manejo sitio-específico**. Chillán: INIA e Cargill Chile, 1999.

DELLA FLORA, L. P. **Influência da calagem na mobilidade de cátions básicos e na disponibilidade de nutrientes**. Lages, 2006, 69p. Dissertação (Mestrado) - CAV/UEDESC.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro,RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. – Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412 p.1999.

FRANÇA, G.E.; OLIVEIRA, A.C.; MANTOVANI, E.C.; et al., Análise preliminar de mapas de variabilidade da fertilidade de solo. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M.P.; QUEIROZ, D.M.; et al., **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 339-356. 2000.

PÖTTKER, D. & BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v.22, p.675-684, 1998.

REICHARDT, K.; VIEIRA, S.R.; LIBARDI, P.L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.10, p.1-6, 1986.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**. p.26-48, Jul/Dez. 2003.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J. & XAVIER, F. M. Aplicação superficial de calcário no sistema plantio direto consolidado em solo arenoso. **Ciência Rural**, v. 30, n. 2, p. 263-268, 2000.

RODRIGUES, J. B. T. **Variabilidade espacial e correlações entre atributos de solo e produtividade na agricultura de precisão**. 2002, 126 p. Dissertação (Mestrado), UNESP – Rio de Janeiro – RJ.

ROLOFF, G. & FOCHT, D. Mapeamento dos atributos do solo – malha ou zona de manejo. p. 104-114. In: BALASTREIRE, L.A. **Avanços na agricultura de Precisão do Brasil no período de 1999-2001**. Piracicaba, 2002.

SANTOS, H.L. & VASCONCELLOS, C.A. Determinação do número de amostras de solo para a análise química em diferentes condições de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.11, p.98-100, 1987.

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

SCHLINDWEIN, J.A. & ANGHINONI, I. Tamanho da subamostra e representatividade da fertilidade do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.32, n.6, p.963-968, 2002.

SCHLINDWEN, J.A. **Calibração de métodos de determinação de fósforo e potássio do solo sob sistema plantio direto**. 2003. 169p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SCHIEBELBEIN, L.M.; FOCHT, D.; ROLOFF, G. **Aumento de produtividade com o uso da agricultura de precisão ao longo do tempo**. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO – CD Room. Piracicaba, SP. ESALQ/USP. 2004.

SILVA, M.S.L. & RIBEIRO, M.R. Influência do cultivo contínuo da cana de açúcar nas propriedades químicas de solos argilosos. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.30, p.389-394, 1995.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. (Boletim Técnico, 5). 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 147p.1995.

TOGNON, A.A.; DEMATTÊ, J.A.M. & MAZZA, J.A. Alterações nas propriedades químicas de latossolos roxos em sistemas de manejo intensivos e de longa duração. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 21, p.271-278, 1997.

TSCHIEDEL, M. & FERREIRA, M.F.; Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, v.32, n.1, p.159-163, 2002.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S. & NEVES, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo vermelho sob diferentes manejos. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.40, n.5, p.487-494, maio 2005.

VIANA, J. H.M., In: **Distribuição Espacial de Atributos Físico-Químicos, Minerológicos e Micromorfológicos de Latossolos, Visando o Mapeamento de Áreas Produtivas**. 2005, 194p. Tese (Doutorado). Viçosa, UFV.

YAMAMOTO, J. K. **Guia do Usuário. Sistema Geovisual 2.2**. 82 p. 2002.

CAPÍTULO 3: RELAÇÃO DA INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO COM O POTENCIAL PRODUTIVO DAS CULTURAS EM ÁREAS MANEJADAS COM TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO.

3.1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de variações de produtividade dentro de uma área de cultivo é o pressuposto básico que justifica trabalhar com agricultura de precisão (Resende & Shiratsuchi, 2007). Quando se busca o entendimento do potencial produtivo das culturas, dentro dos vários atributos existentes (químicos, físicos e biológicos), há controvérsia sobre que atributo utilizar para considerar que um solo tem qualidade. Os mapas de produtividade podem definir unidades de manejo com produtividades altas, médias e baixas (Molin, 2002), no entanto, quando os atributos químicos do solo já apresentam valores dentro de limites preconizados pelas recomendações e comissões de pesquisa, as relações desses parâmetros com a produtividade dificilmente são encontradas e novos fatores devem ser identificados (Viana, 2005).

Sob tais determinantes, Fancelli (2001) sugere buscar o conhecimento da influência efetivo dos fatores que determinam o desempenho da planta, sendo essa compreensão ponto decisivo para a minimização de estresses de natureza diversa, favorecendo a predição ou previsão da duração das etapas de desenvolvimento da planta, bem como a coincidência dessas etapas com condições desfavoráveis de oferta dos fatores de produção, como por exemplo, a água. Em solos cuja estrutura tenha sofrido alterações a disponibilidade de água e, conseqüentemente dos nutrientes, pode estar sendo comprometida reduzindo a produtividade das culturas (Beulter & Centurion, 2004).

Neste caso, o entendimento da variabilidade exige uma maior quantidade de informações e o conhecimento de suas relações. Dentre os atributos de ordem física, a taxa de infiltração de água no solo é tida como o atributo capaz de integrar os vários fatores como a distribuição do tamanho e continuidade de poros, presença de poros biológicos e a cobertura do solo (Reichert et al., 2003). As relações entre água e produtividade podem fornecer dados mais concisos que a porosidade, resistência à penetração de raízes e densidade do solo, de forma isolada (Reichardt & Timm, 2004).

A definição mais simples da taxa de infiltração, segundo Cauduro & Dorfman (1986), seria a quantidade de água por unidade de área que atravessa a superfície do solo, na unidade de tempo, na direção do sistema radicular. Para Reichardt & Timm (2004), este é um processo que pode perdurar enquanto houver disponibilidade de água na superfície do solo.

O manejo adequado do solo deve englobar um conjunto de práticas agrícolas que proporcionem as seguintes condições: retenha ao máximo a água da chuva onde ela cai sobre o solo; incremente a velocidade de infiltração de água no solo; reduza a velocidade de escoamento superficial da água não infiltrada no solo; aumente a capacidade de armazenamento de água no solo e proporcione boas condições físico-químicas para o desenvolvimento das culturas (Denardin, 1984). Neste sentido, a compreensão do comportamento de características físicas do solo, como a taxa de infiltração, pode ser de grande valia para o entendimento das causas da variabilidade na produção das culturas. Mesmo de aparência homogênea, essas variáveis podem apresentar considerável variabilidade, espacial e, conseqüentemente, na resposta hidrológica das culturas (Lima & Silans, 1999).

No sistema de plantio direto com a retirada dos terraços, há uma necessidade ainda maior de se manter elevada a taxa de infiltração, evitando o escoamento superficial. A presença de palha na superfície, a distribuição de tamanho e continuidade de poros, a atividade biológica, a elevação dos teores de matéria orgânica e a presença de poros biológicos que afetam positivamente o conteúdo de água do solo (Reinert et al., 2001).

Em condições de lavoura no Sul do Brasil o que se observa é que mesmo em situações com grandes adições de resíduos na superfície e restrição do tráfego de máquinas, podem ocorrer perdas de água por escoamento superficial, gerando a perda de camadas de solo, nutrientes e a contaminação de mananciais hídricos, exigindo medidas que provocam sua maior infiltração, tais como terraços e semeadura em nível (Mielniczuk, 1996).

Estudando o comportamento da produtividade de seis cultivares de soja em relação a níveis de compactação adicional do solo Secco et al., (2004) observaram comportamento semelhante entre as cultivares para os diferentes estados de compactação porém, para as condições americanas, Cooper (2003) identificou com certa facilidade que o principal fator limitante ao rendimento de culturas como a soja era a disponibilidade de água. Porém, ele faz a ressalva que o rendimento alvo deve ser considerado nesta análise. Assim, para rendimentos de 3.000 kg ha⁻¹, a disponibilidade de água não seria o principal fator limitante para grande parte do centro-oeste americano. No entanto, para rendimentos de 6.000 kg ha⁻¹, a

disponibilidade de água foi o principal fator limitante ao rendimento em praticamente todos os anos de pesquisa de produtividade máxima.

No Estado do Rio Grande do Sul, o rendimento de grãos da cultura da soja, cultura que ocupa maior área plantada, apresenta grandes oscilações entre locais e anos, sendo a variabilidade na distribuição das chuvas a principal limitação à expressão do potencial produtivo (Cunha et al., 1998). Para a região de Passo Fundo há riscos de mais de 30% enquanto que para a região de Santa Rosa isso pode chegar a 38%. Para a cultura do milho Matzenauer et al., (1995) também encontraram alta associação entre a variável e o rendimento de grãos. Fiorin et al., (1997) observaram para a cultura do milho que o armazenamento de água no horizonte A apresenta uma relação direta com a produção de grãos.

Com o surgimento de tecnologias como o Sistema de Posicionamento Global (GPS) e as demais ferramentas que congregam o gerenciamento por informações, também denominada de agricultura de precisão (AP), foram possíveis associar a variabilidade da produtividade das culturas com os vários atributos que regem seu potencial, em qualquer local da lavoura, e tornar prático e direcionado, dentro da parte da lavoura, especificamente, onde deverá ser realizada uma determinada intervenção ou análise (Machado et. al., 2004).

Como informações relevantes, deste tipo de pesquisa, esperam-se identificar as relações da infiltração de água com a expressão do potencial produtivo das culturas e a potencialidade a campo de três métodos de diagnóstico da permeabilidade do solo.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os locais de estudo compreendem duas áreas de lavoura manejadas com ferramentas de AP há cinco anos, e no sistema de plantio direto (SPD), há mais de dez anos (plantio direto consolidado). A primeira área encontra-se no município de Palmeira das Missões e a segunda área no município de Não-Me-Toque, ambas no Estado do Rio Grande do Sul (RS). Em cada uma das áreas foram escolhidos locais com histórico de alta, média e baixa produtividade, conforme a base de dados contidos na sobreposição de seis mapas de produtividade na área de Palmeira das Missões e na sobreposição de quatro mapas, para a área de Não-Me-Toque, apresentada na Figura 3.1, conforme métodos descritos no Capítulo 1.

As avaliações foram realizadas em três pontos para cada um dos três locais de diferentes potenciais produtivos (alta, média e baixa produtividade), distantes 100 metros um

do outro. Utilizaram-se três métodos para mensuração da infiltração, considerando cinco repetições por ponto para cada equipamento totalizando 45 testes por área estudada. Para a localização dos pontos amostrais nas áreas, foi utilizado um aparelho GPS de navegação.

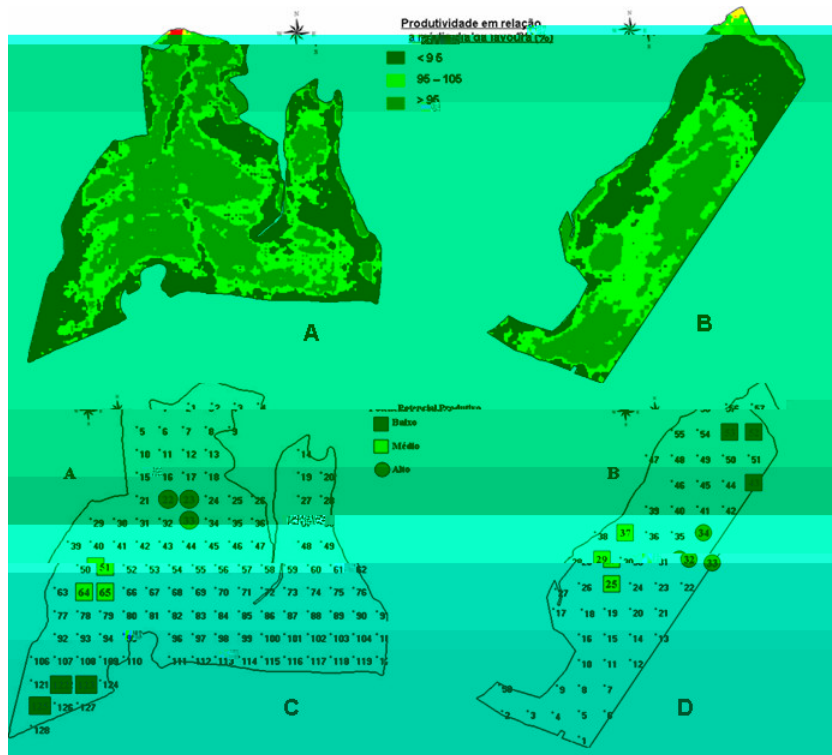


Figura 3.1 – Vista dos mapas de produtividade sobrepostos e dos locais das avaliações nas áreas de Não-Me-Toque (A e C) e de Palmeira das Missões (B e D).

Para a determinação da infiltração de água no solo utilizaram-se três métodos de avaliação: o método de duplos anéis concêntricos descrito por Bower (1986), modificado por Siqueira & Denardin (1985) e readaptado por LanzaNova (2005) e Nicoloso (2005), denominado por esses autores como “Infiltrômetro Jari Grande”, o método proposto pelo Soil Quality Test Kit Guide (USDA-ARS, 1998) e o método de Cornell Sprinkle Infiltrometer, descrito por Van Es & Schindelbeck (2003).

No método de anéis, descrito por Bower (1986), o princípio de funcionamento consiste em manter o fluxo de água constante através de um recipiente acoplado a um cilindro central de 25 cm de diâmetro introduzido até 10 cm no solo (com auxílio de um calço e marreta – nesse trabalho) e outro recipiente, também com água, no cilindro externo de 45 cm de diâmetro. O volume de água infiltrada é medido pela graduação do recipiente do cilindro central. Nas avaliações realizadas, geralmente foi utilizado o tempo de leitura de 120 minutos.

O método tradicional modificado - Infiltrômetro Jari Grande - no lugar da garrafa de água e da régua para as leituras, os autores LanzaNova (2005) e Nicoloso (2005), adaptaram

um cano de PVC, de 150 mm de diâmetro, fechado numa ponta e com um registro de esfera de ½ polegada na outra, contendo água em quantidade conhecida por meio de uma mangueira e uma escala graduada em intervalos de 15 ml, suspensos por meio de um tripé de ferro. Dessa forma, as leituras de infiltração, nos tempos requeridos, são facilmente realizadas. Outra vantagem do modelo desenvolvido, além da autonomia de trabalho proporcionada pelo volume de água acondicionado no cano, é a facilidade de manuseio e manejo do equipamento no campo, onde problemas de transporte e de reabastecimento durante as leituras são mais facilmente resolvidos.

No método proposto pelo Soil Quality Test Kit Guide (USDA-ARS, 1998), são utilizados cilindros de 15 cm de diâmetro (6"-seis polegadas) e 12,5 cm de altura (5"), introduzidos no solo a uma profundidade de 7,5 cm (3"). É colocado um filme de polietileno sobre o solo, dentro do cilindro, para impedir a infiltração da água no solo antes do início das leituras. Após adicionar 444 mL de água (correspondente a 2,54 cm de lâmina ou uma polegada) ao cilindro, o filme de polietileno é retirado e anotado o tempo transcorrido para a infiltração de todo o líquido. Uma segunda avaliação de infiltração, seguindo o mesmo procedimento discutido anteriormente, é efetuada e os dados então registrados.

O método de Cornell Sprinkle Infiltrometer, descrito por Van Es & Schindelbeck (2003), é um simulador portátil de chuva com volume de 20,6 litros, um número de 69 tubos gotejadores na sua parte inferior, e de diâmetros de 0,063 cm e 19 cm de comprimento cada um. Esse simulador é fixado sobre um cilindro de 24 cm de diâmetro e conta com um sistema de regulação de entrada de ar o qual permite simular diferentes intensidades de chuva. Segundo os autores, suas vantagens envolvem o baixo custo de aquisição, praticidade no transporte (tamanho pequeno e peso baixo), avaliação rápida e determinada por uma única pessoa, facilidade de calibração para diferentes intensidades de chuva e baixo consumo de água. O Cornell Sprinkle Infiltrometer permite trabalhar com diferentes intensidades de chuva. Alterando-se para mais ou para menos a altura da extremidade inferior do cano de entrada de ar (parte em contato com a água), em relação ao fundo do recipiente que condiciona a água, força-se uma entrada maior ou menor de ar ampliando ou diminuindo, conseqüentemente, a intensidade do gotejamento.

O Cornell Sprinkle Infiltrometer proporcionou, além das avaliações da taxa de infiltração de água no solo, determinar para cada zona potencial produtiva o tempo para o início do escoamento superficial. A intensidade da chuva foi determinada a partir da expressão:

$$\text{Intensidade da Chuva } (r_t) = (H1-H2)/3 \text{ ou } r_t = (H1-H2)/Tf,$$

onde: H1 = leitura inicial do volume de água na régua do infiltrômetro; H2 = leitura final do volume de água na régua do infiltrômetro e Tf = intervalo de tempo entre uma leitura e outra.

O escoamento superficial foi determinado por:

$$\text{Escoamento superficial } (Ro_t) = V_t/(457,30 * t),$$

onde: 457,30 = é a área do anel; t = intervalo de tempo entre as coletas da água escoada (três minutos nesse trabalho) e V = volume de água coletada. A infiltração de água foi determinada por diferença:

$$\text{Infiltração de água } (i_t) = r_t - ro_t$$

Segundo Eltz et al., (1992), para as condições centrais do RS, estima-se que a cada 100 anos se observe uma chuva de 154,6 mm h⁻¹ durante 30 minutos. Para efeitos desse trabalho procurou-se seguir a sugestão descrita no método original e simular uma chuva de 300 mm h⁻¹ durante 60 minutos. Essa condição, embora pouco provável de ocorrer nas regiões estudadas, objetivou criar uma condição para mensurar o início do escoamento superficial, outra avaliação proporcionada pelo método (dados não apresentados nesse trabalho). Van Es & Schindelbeck (2003) reforçam que a calibração desse infiltrômetro pode ser ajustada considerando a base de estudos sobre os padrões de chuvas ocorrentes e o tempo de retorno dessas, em cada região (Eltz et al., 1992; Mehl, et. al., 2001).

As avaliações foram realizadas após a colheita das culturas de inverno (novembro de 2005), em ambas as áreas procurando evitar que os locais de determinações coincidisse com locais com históricos de terraços e antigas voçorocas. No momento das avaliações, o solo se encontrava totalmente coberto, devido ao grande aporte de palha proporcionada pelas culturas de inverno.

Procurou-se fazer as avaliações no menor intervalo de tempo possível (apoio de duas equipes de campo) para evitar variações temporais de umidade.

Na Tabela 3.1 são apresentados os teores de argila em cada ponto avaliado.

Uma ilustração dos três equipamentos utilizados está demonstrada na Figura 3.2. A análise dos dados seguiu as pressuposições estatísticas com a presença de repetições (cinco), as médias comparadas duas a duas pelo teste T, pelo programa Microsoft Office Excel® 2003 e pelo programa Geovisual 2.2, (Yamamoto, 2002).

Tabela 3.1 – Teor de argila do solo (%) em cada ponto experimental.

Pontos	Palmeira das Missões			Não-Me-Toque	
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	Pontos	0-10 cm
32A*	62	70	72	22A	66
33A	62	62	79	23A	61
34A	62	70	67	33A	54
25M**	60	77	86	51M	57
29M	67	86	90	64M	63
37M	74	79	81	65M	63
43B***	75	88	79	122B	51
52B	72	77	70	123B	55
53B	70	79	75	125B	46

* Zona potencial de alta produtividade; ** Média produtividade; *** Baixa Produtividade.

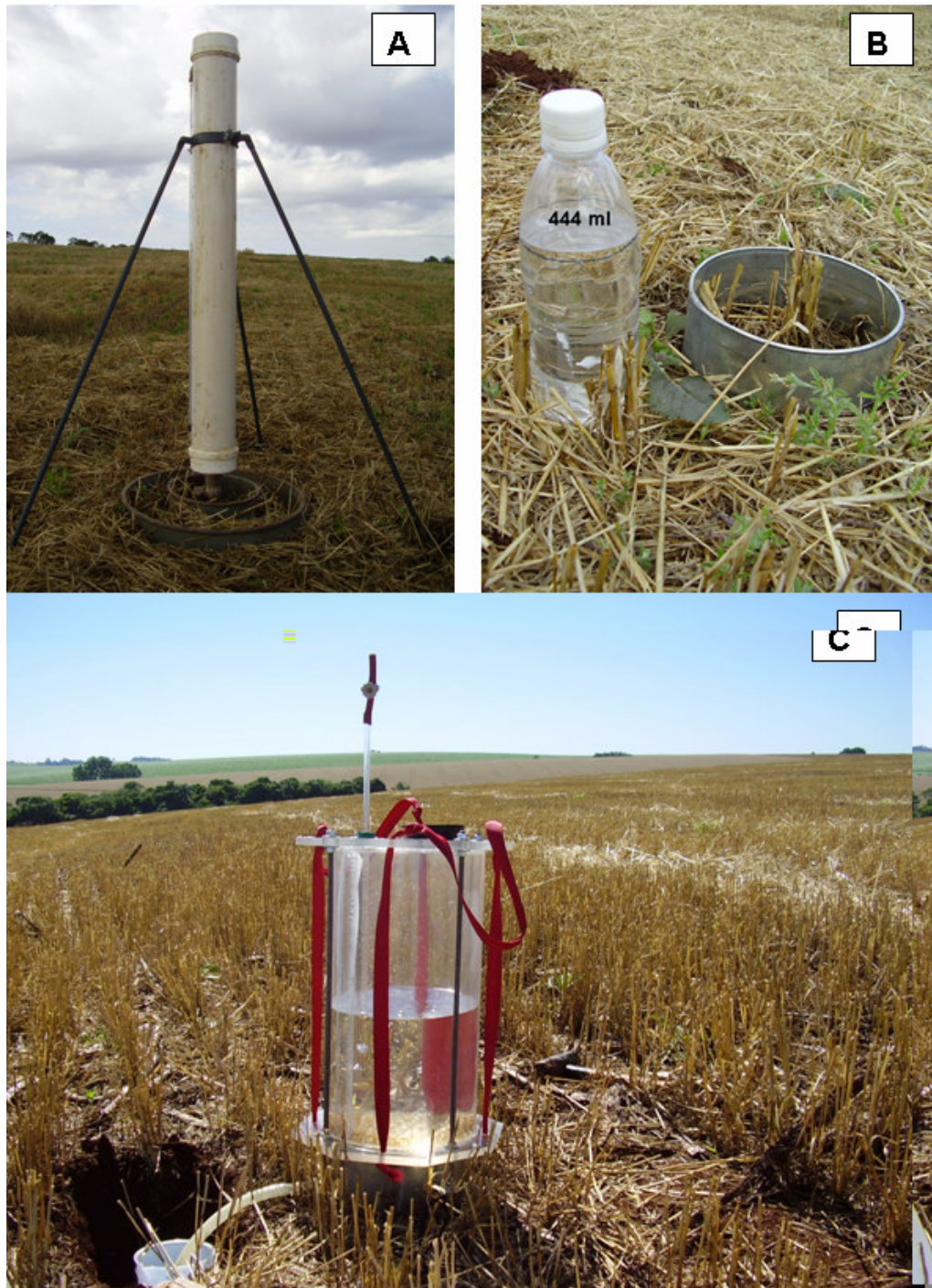


Figura 3.2 – Vista dos Infiltrômetros “Jari Grande” (A), Soil Quality Test Kit Guide/USAD-ARS (B) e do Cornell Sprinkle Infiltrometer (C), utilizados nas avaliações de campo.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As taxas de infiltração instantâneas de água no solo, determinadas pelos métodos do Infiltrômetro Jari Grande e do Cornell Sprinkle Infiltrometer, são apresentadas nas Figuras 3.3 e 3.4, para as áreas de Palmeira das Missões e de Não-Me-Toque, respectivamente.

O infiltrômetro “Jarí Grande” registrou os maiores valores de infiltração instantânea, quando comparado com o infiltrômetro de Cornell Sprinkle Infiltrometer, nas duas áreas avaliadas. Isso está diretamente relacionado aos princípios dos métodos. Pott & De Maria (2003) também encontraram essas tendências com um infiltrômetro de aspersão, determinando menores valores do que um de pressão, chegando a valores de 2,4 e 3,0 vezes para um Latossolo textura média e para um Argissolo textura arenosa/média, respectivamente. Quando testaram em um Latossolo textura argilosa, o infiltrômetro de pressão determinou valores de velocidade de infiltração básica de 7,2 vezes maior que o encontrado com o infiltrômetro de aspersão. Nesse trabalho, na área de Palmeira das Missões, o infiltrômetro “Jarí Grande” determinou valores para a taxa de infiltração de água acumulada de 1,62 e 1,33 vezes maior que o infiltrômetro Cornell Sprinkle Infiltrometer, para as unidades de alta e baixa produtividade, respectivamente. Na unidade de baixa produtividade, nas duas áreas estudadas, essas diferenças não ocorreram.

A unidade da alta produtividade, nos dois locais, apresentou a maior taxa de infiltração instantânea, independente do método utilizado. A tendência mostrou uma maior taxa de infiltração na unidade de alta produtividade, decrescendo na de média e sendo menor na de baixa produtividade, exceto quando da utilização do método do infiltrômetro “Jarí Grande” na área de Não-Me-Toque. Isso se deve, provavelmente, à variação espacial entre os pontos avaliados, fato também observado por Brito et al. (1996).

Na área de Palmeira das Missões, nos primeiros cinco minutos de leitura (método do infiltrômetro “Jarí Grande”), os locais com alta produtividade apresentaram uma taxa de infiltração instantânea de 100 % e 200 % superior que nos locais de média e baixa produtividade, respectivamente. Após 120 minutos de teste, a taxa de infiltração se igualou nos locais de média e baixa produtividade, enquanto que onde a produtividade era elevada, a taxa foi 100 % superior quando comparada com a infiltração obtida nos outros dois locais. Em Não-Me-Toque, embora em escala menor, a taxa de infiltração nos primeiros cinco minutos foi 95 % superior aos demais locais avaliados, e mesmo após 120 minutos de avaliação

infiltrou 75 % a mais em relação à taxa inicial de infiltração, obtida onde se observa média e baixa produtividade na área.

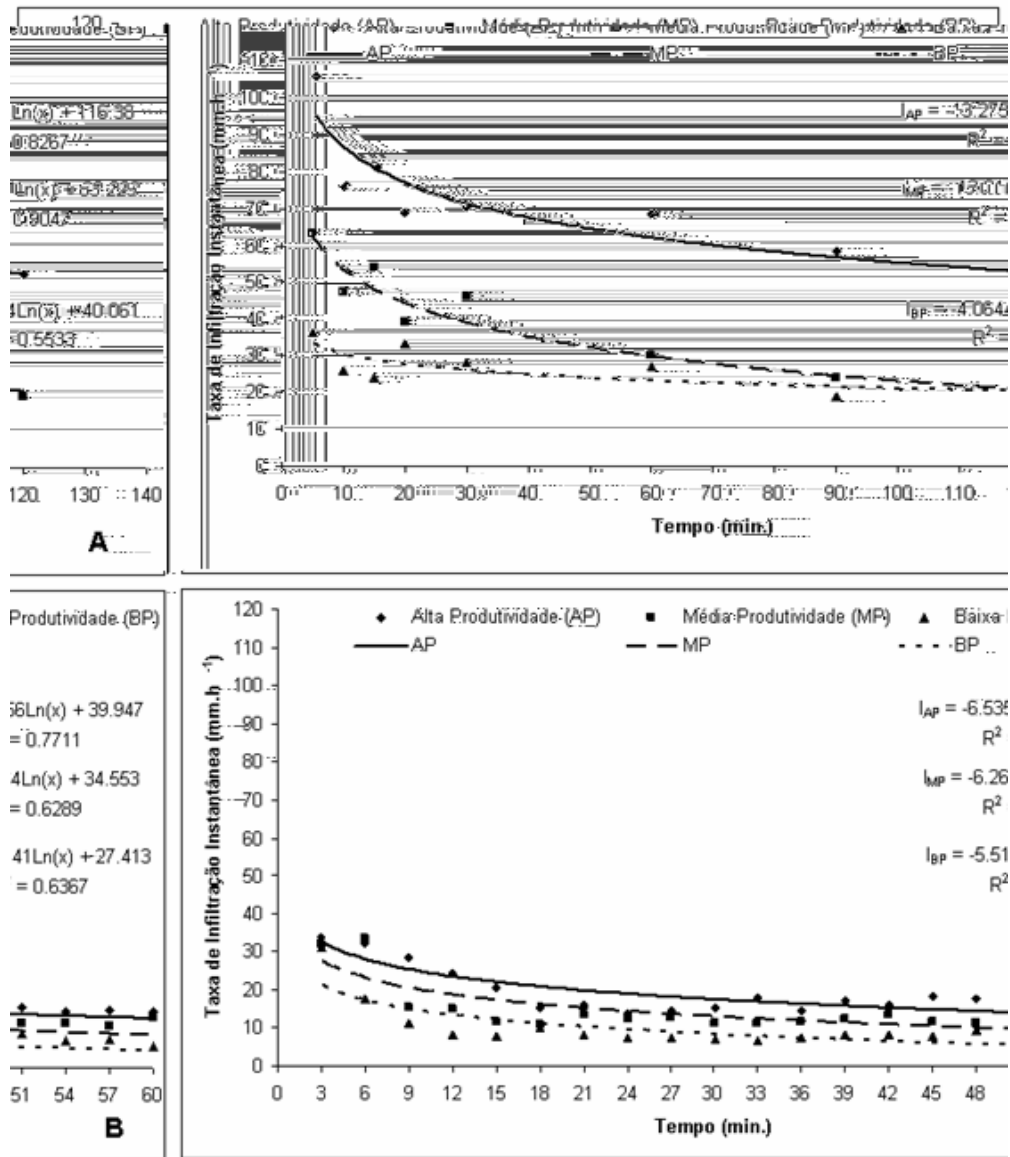


Figura 3.3 – Taxa de infiltração instantânea de água no solo obtida a partir dos métodos do Infiltrômetro Jari Grande (A) e do Cornell Sprinkle Infiltrometer (B), em zonas com diferentes potenciais produtivos, na área de Palmeira das Missões - novembro de 2005.

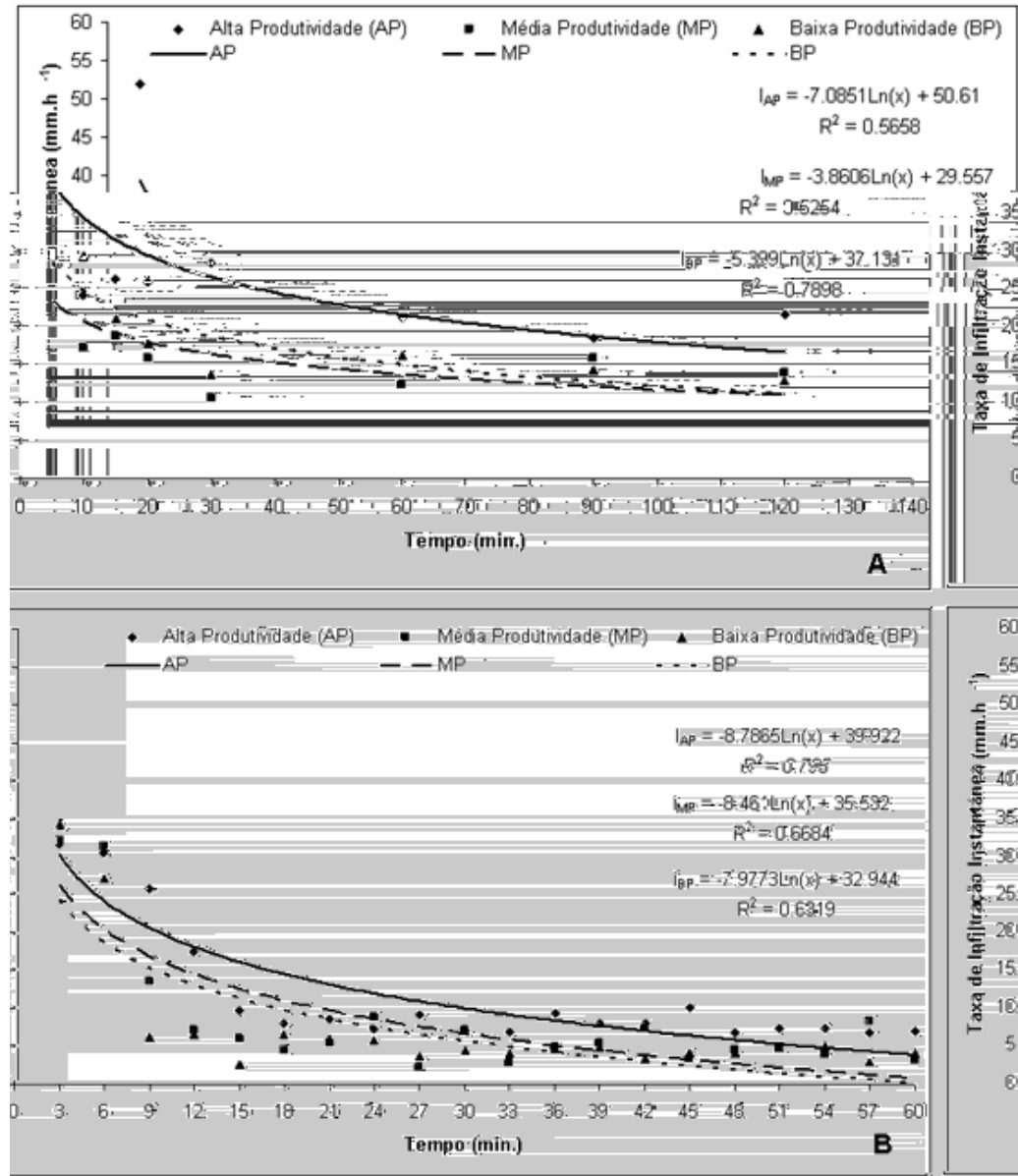


Figura 3.4 – Taxa de infiltração instantânea de água no solo obtida a partir dos métodos do Infiltrômetro Jarí Grande (A) e do Cornell Sprinkle Infiltrometer (B), em zonas com diferentes potenciais produtivos, na área de Não-Me-Toque - novembro de 2005.

O método do infiltrômetro “Jarí Grande”, embora talvez não expresse o valor real da infiltração instantânea de água no solo, pelas razões já discutidas acima e reforçadas por Brito et al. (1996) e Pott & De Maria (2003), foi mais eficiente em discriminar as zonas. Esse método proporcionou a maior amplitude nas taxas de infiltração instantânea entre as zonas estudadas, o que pode ser um ponto interessante do ponto de vista de manejo, quando a definição dessas zonas potenciais seja realizada a partir de métodos que apontem as limitações na taxa de infiltração de água no solo.

Para as taxas de infiltração acumulada, nas duas áreas e pelos dois métodos estudados, comprovou-se uma maior infiltração nas unidades de alta produtividade, quando comparada às unidades de média e baixa produtividade (Figuras 3.5 e 3.6).

Na área de Palmeira das Missões, as taxas de infiltração acumulada, determinadas pelo método do Infiltrômetro “Jarí Grande”, em valores relativos, foram 34% e 44% superiores aos valores observados no método de Cornell Sprinkle Infiltrometer, nas unidades de alta e média produtividade, respectivamente. Na unidade de baixa produtividade, os valores foram similares em ambos os métodos. Isso também ocorreu na área de Não-Me-Toque, porém, na unidade de média produtividade constataram-se infiltrações mais elevadas no método do Infiltrômetro “Jarí Grande” (28% superior).

Observando-se os dados obtidos na área de Palmeira das Missões (Figura 3.5A), pelo método do Infiltrômetro “Jarí Grande”, a diferença na taxa de infiltração de água acumulada entre os locais de alta produtividade (600 mm) e de baixa produtividade (192 mm) foi de 408 mm (213 % superior). Na área de Não-Me-Toque (Figura 3.6A), os valores numéricos foram menores, mas demonstraram a superioridade na taxa de infiltração acumulada dos locais de elevado rendimento (288 mm), em relação aos locais de baixo rendimento (136 mm), com uma diferença de 152 mm (112 %).

Para os dois métodos e as duas áreas avaliadas, os coeficientes de determinação (R^2) foram elevados. Independente do método e do valor numérico encontrado, em ambas as áreas, nos pontos com histórico de produtividade alta também se encontram as maiores taxas de infiltração de água. Vezzani (2001) ressalta que isso é possível e não deve ser negligenciado, uma vez que a qualidade do solo expressa, em uma mesma lavoura, subáreas com diferentes níveis de qualidade (organização do sistema), embora as práticas de manejo adotadas tenham sido planejadas para aplicação uniforme. Assim, a eficiência de uma fertilização mineral, por exemplo, pode ser comprometida em anos com déficit hídrico, principalmente nas subáreas compactadas, que restringem o desenvolvimento radicular ou dificultam a infiltração, o armazenamento e a disponibilidade de água às plantas.

Os resultados evidenciam que a área de Não-Me-Toque apresenta uma menor infiltração quando comparada a área de Palmeira das Missões. Nos dois métodos estudados (infiltrômetro “Jarí Grande” e infiltrômetro de Cornell Sprinkle Infiltrometer), a taxa de infiltração acumulada foi inferior nas três zonas, quando comparada às avaliações de Palmeira das Missões.

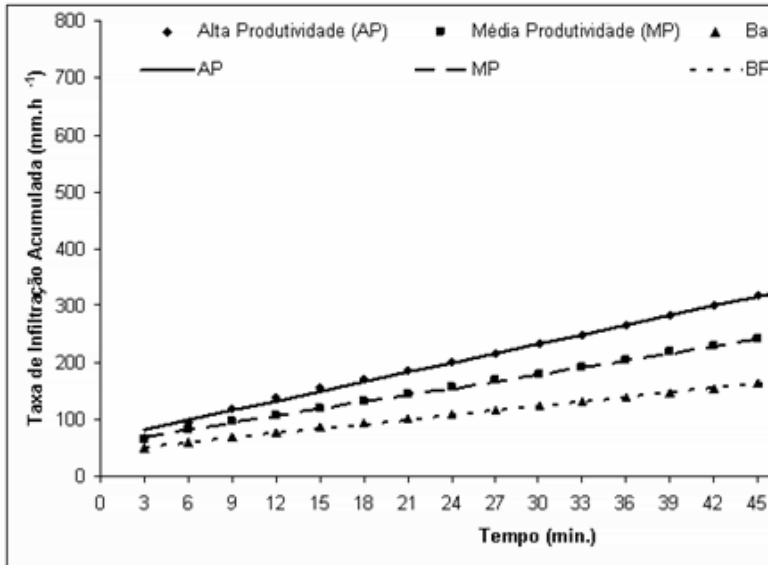
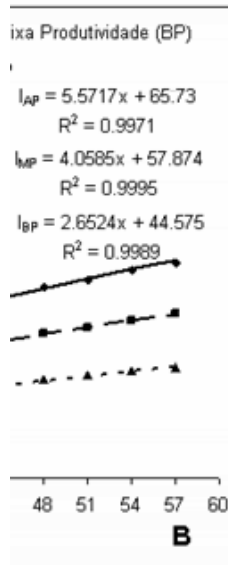
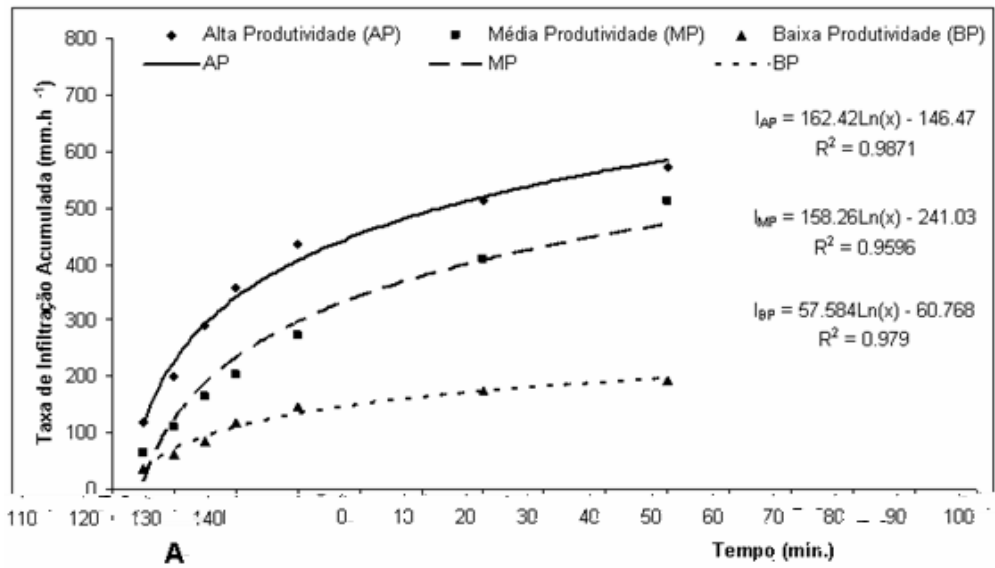


Figura 3.5 – Taxa de infiltração acumulada de água no solo obtida a partir dos métodos do Infiltrômetro Jari Grande (A) e do Cornell Sprinkle Infiltrometer (B), em zonas com diferentes potenciais produtivos, na área de Palmeira das Missões - novembro de 2005.

Figura 3.6 – Taxa de infiltração acumulada de água no solo obtida a partir dos métodos do Infiltrômetro Jari Grande (A) e do Cornell Sprinkle Infiltrometer (B), em zonas com diferentes potenciais produtivos, na área de Não-Me-Toque - novembro de 2005.

Na busca de um método prático de campo, também foram realizadas determinações da infiltração de água no solo através do método proposto pelo Soil Quality Test Kit Guide (USDA-ARS, 1998). Na área de Não-Me-Toque, foram realizadas avaliações da taxa de infiltração com o método proposto pelo Soil Quality Test Kit Guide em duas épocas (março e novembro de 2005). Na avaliação realizada em março de 2005, o método mostrou-se sensível e eficiente na definição das áreas potenciais produtivas (Figura 3.7). A tendência entre as zonas se manteve na avaliação de novembro, mas a análise estatística não demonstrou diferenças significativas entre as unidades de baixa e média produtividade.

Observando as avaliações realizadas em novembro nas duas áreas, esse método foi capaz de discriminar as zonas de alta produtividade das zonas de média e baixa produtividade. Conceição (2002) encontrou baixa correlação desse método, quando da comparação com o método tradicional de duplos anéis concêntricos. Esse autor porém, aposta na eficiência dessa metodologia para discriminar sistemas de manejo quanto ao impacto na qualidade do solo. Percebe-se que a diferença na taxa de infiltração entre as zonas de alta e baixa produtividade é tão elevada que mesmo um método mais simples foi capaz de discriminar as zonas.

Durante a execução de campo nesse trabalho, foram possíveis algumas constatações práticas na utilização dos equipamentos (Tabela 3.2). O infiltrômetro “Jari Grande” foi o método que demandou maior tempo (duas horas para cada determinação) e que mais consumiu água, em torno de 60 litros para cada repetição. No entanto, após a instalação dos anéis, se houver um recipiente acondicionando água próximo ao local de avaliação, duas pessoas conseguem monitorar e reabastecer um conjunto com cinco anéis.

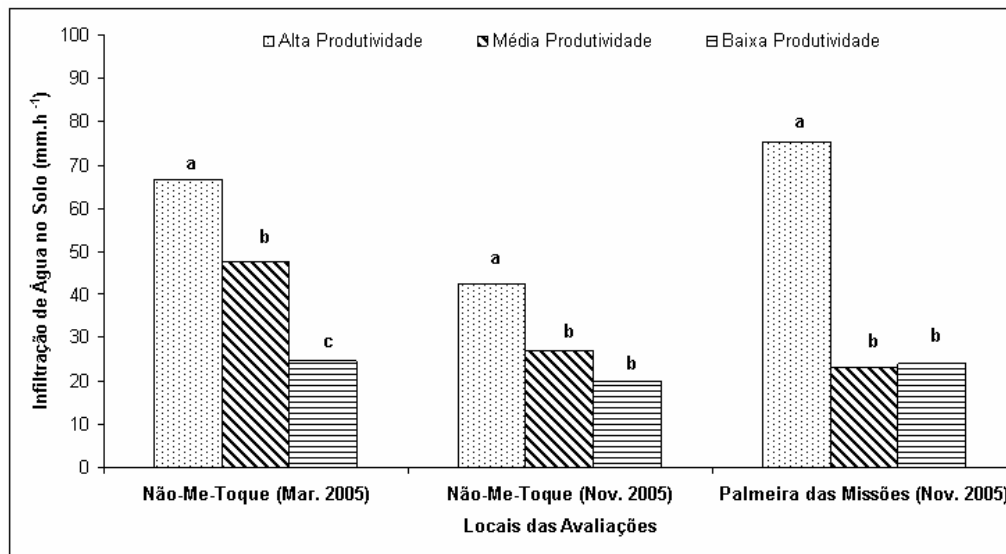


Figura 3.7 – Infiltração de água no solo, em três zonas potenciais produtivas, obtida a partir do método do Soil Quality Test Kit Guide/USAD-ARS, em situação de campo, em duas áreas de lavoura – 2005. Teste T (P < 5%). Médias seguidas de mesma letra minúscula comparam médias dentro de cada local.

O Cornell Sprinkle Infiltrometer por sua vez, tem um consumo de 20 litros de água (1/3 do volume consumido pelo método do infiltrômetro Jarí Grande) e a metade do tempo demandado pelo método anterior. Esse método, porém, requer a dedicação de uma pessoa em tempo integral, devido à intensidade das leituras (a cada três minutos). Para contornar essas situações, sugere-se que novos estudos sejam conduzidos, em condições de clima tropical,

principalmente pela questão do plantio direto e grande aporte de palha sobre a superfície do solo.

Quanto ao método do Soil Quality Test Kit Guide/USAD-ARS, por se tratar de uma metodologia gerada nas condições de solo americano, e com poucas avaliações em condições de solos tropicais, esses resultados pressupõem potencialidades na metodologia como método rápido de campo para definições de regiões na lavoura com problemas de permeabilidade. Sugere-se a realização de novas avaliações, congregando outras situações de lavoura, tipos de solo, aporte de matéria seca sobre a superfície do solo, distintos diâmetros para o cilindro e/ou aumento do número de repetições.

Tabela 3.2 – Observações, durante as avaliações de campo, quanto à praticidade dos métodos utilizados para determinação da permeabilidade em duas áreas de lavoura.

DEMANDA E CONSUMO POR EQUIPAMENTO			
MÉTODO UTILIZADO	Tempo (min.)	Água (litros)	Mão-de-obra
Infiltrômetro Jarí Grande	120	> 60	Duas pessoas para cada 5
Cornell Sprinkle			
Infiltrômetro	60	20	Uma pessoa
Soil Quality Test Kit			
Guide/USAD-ARS	Variável (inferior a 60)	444 + 444 mL	Uma pessoa para cada 5

Quando da utilização do infiltrômetro de Cornell Sprinkle Infiltrômetro, além da taxa de infiltração de água, avaliou-se o tempo para o estabelecimento do escoamento superficial. Na área de Palmeira das Missões, na zona de alta produtividade, a simulação de uma chuva de 300 mm h⁻¹ induziu o início do escoamento após 27 minutos, contra os 17 e 10 minutos evidenciados nas zonas de média e baixa produtividade, respectivamente. Na área de Não-Me-Toque, a tendência seguiu o mesmo comportamento da área de Palmeira das Missões, com a zona de alta produtividade sendo menos propensa à perda de água por escoamento superficial (16 minutos para o estabelecimento do escoamento), seguida da zona de média produtividade (12 minutos) e de baixa produtividade (9 minutos).

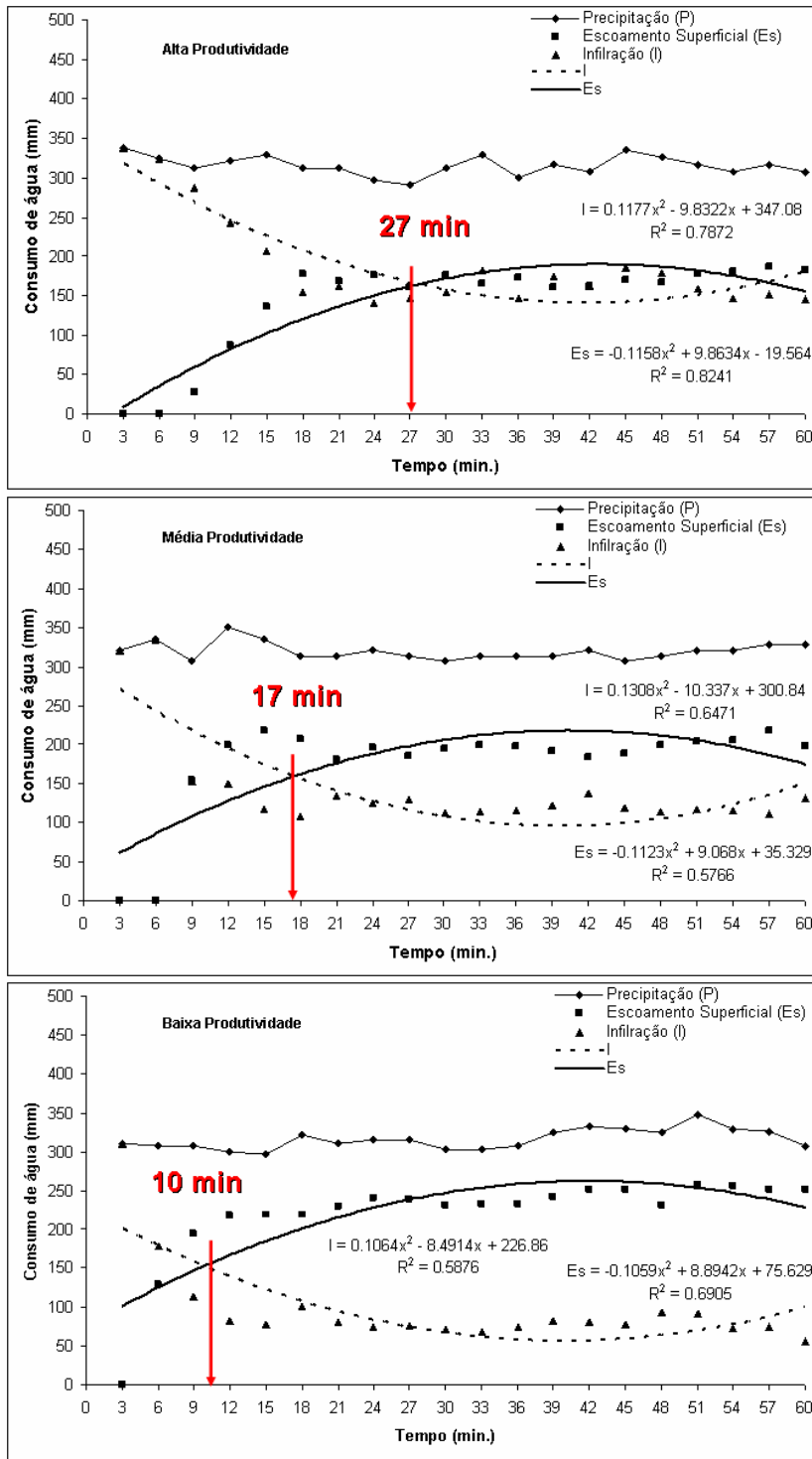


Figura 3.8 – Precipitação, escoamento superficial e infiltração de água no solo, determinada pelo método de Cornell Sprinkle Infiltrômetro – Palmeira das Missões, 2005.

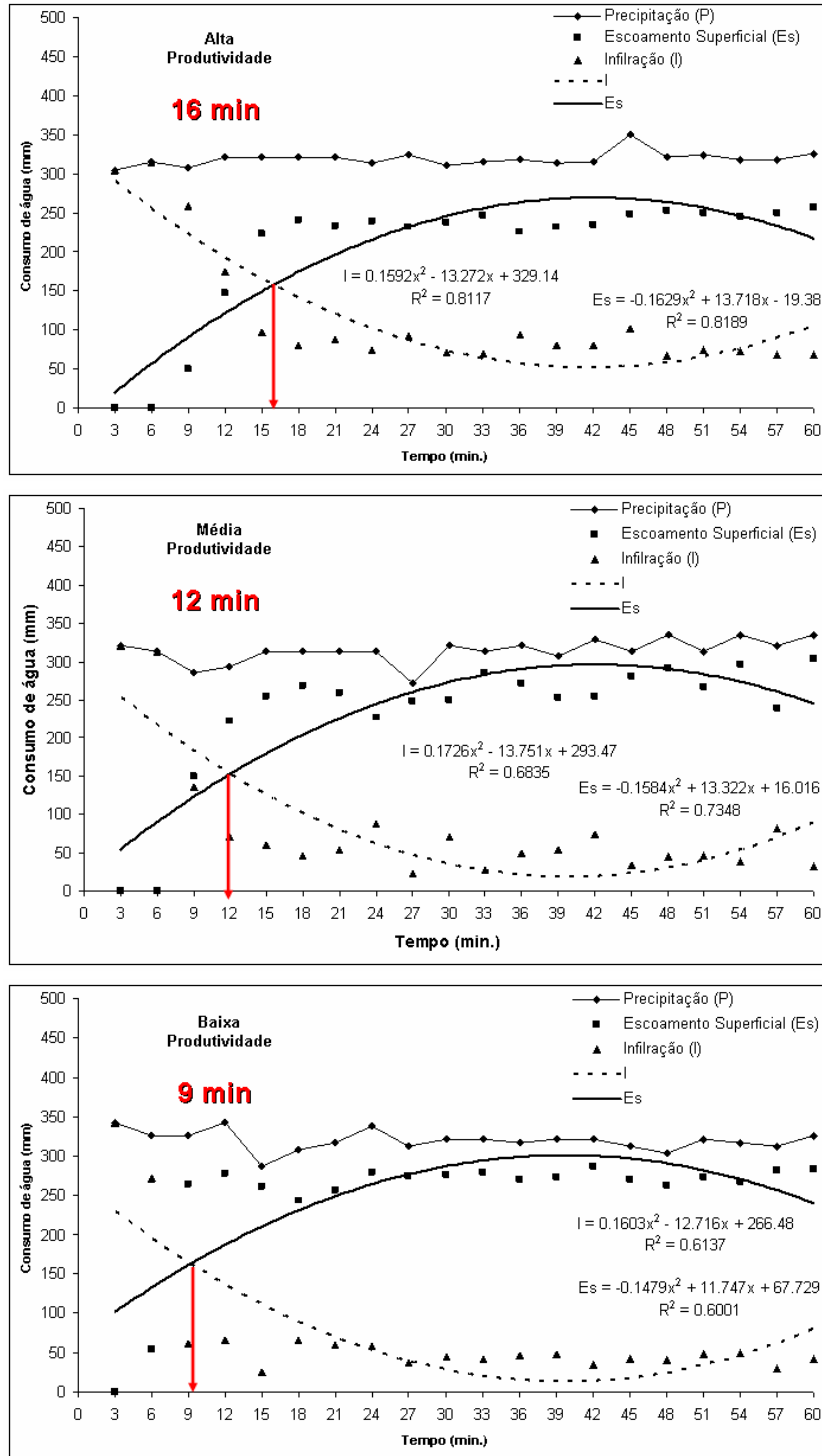


Figura 3.9 - Precipitação, escoamento superficial e infiltração de água no solo, determinada pelo método de Cornell Sprinkle Infiltrometer – Não-Me-Toque, 2005.

Considerando que as áreas avaliadas tem um histórico de manejo em sistema plantio direto a mais de dez anos, durante as determinações de permeabilidade foi possível observar, em seis repetições, que a presença de galerias de corós (*Diloboderus abderus*) modificou

completamente a permeabilidade do solo. Esse acréscimo na taxa de infiltração de água solo pode ser observado na Figura 3.10.

Após 120 minutos de avaliação, a taxa de infiltração instantânea, no local de alta produtividade, foi duas vezes superior a observada no local de baixa produtividade. Quando da presença de galerias de corós, a diferença foi de quatro e oito vezes maior que a determinada nas unidades de alta e baixa produtividade, respectivamente. Esse mesmo comportamento foi expresso na taxa de infiltração acumulada.

A contribuição de galerias de corós na taxa de infiltração de água no solo já havia sido relatada por Silva et al., (2000). No entanto, os resultados dizem respeito a galerias simuladas durante testes de infiltrações, o que pode não evidenciar claramente a realidade a campo, uma vez que os formatos, diâmetros e profundidades das galerias são variáveis em condições de lavoura.

Casos como o desse trabalho demonstram e consolidam a importância de se adotar estratégias visando elevar os teores de matéria orgânica do solo, especialmente nas áreas com baixo potencial de rendimento, como um pré-requisito à melhoria nas propriedades físicas como a agregação, densidade e a porosidade, com efeitos conjuntos sobre a fertilidade do solo, infiltração e retenção de água e implicações diretas na produtividade das culturas.

Prova disso (Figura 3.11) é que o grande número de bioporos encontrados nas avaliações de campo, em locais de alta produtividade, ajudam a entender a necessidade de se buscar o aumento da qualidade do solo como meio de se elevar a atividade biológica e, conseqüentemente, gerar melhorias na permeabilidade do solo, por possibilitarem um fluxo preferencial de água através das galerias produzidas pelos organismos do solo ou mesmo facilitar o crescimento radicular (Figuras 3.11D e 3.11E).

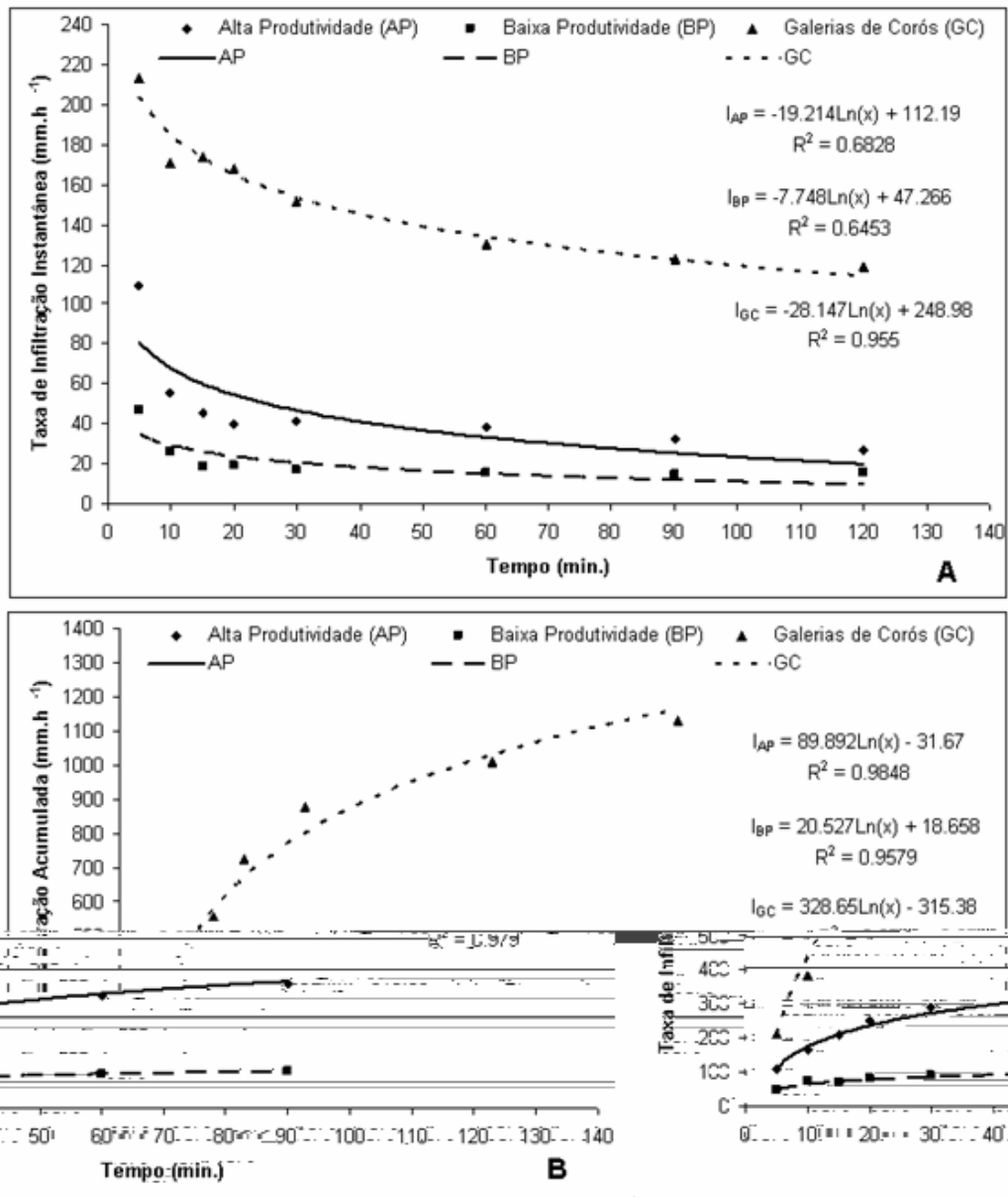


Figura 3.10 - Taxa de infiltração instantânea de água no solo (A) e taxa de infiltração acumulada de água no solo (B) numa zona de alta produtividade, numa zona de baixa produtividade e quando da presença de galerias de corós (*Diloboderus abderus*), Palmeira das Missões – RS, 2005.



Figura 3.11 - Presença de poros biológicos constatados durante as avaliações de campo, gerados pela ação de organismos como minhocas (A) e corós (B e C). Percepção do favorecimento dessas galerias para com o transporte de nutrientes e matéria orgânica no perfil do solo, infiltração de água no solo e o crescimento radicular.

Dentro desse contexto, procurou-se ampliar o conhecimento da variabilidade espacial desses atributos, ou seja, detectar a existência de certa estrutura ou grau de organização na distribuição espacial dos parâmetros estudados. Assim, foram utilizados os dados de precipitação acumulada durante cada ciclo cultural, dividido pelos valores de produtividade em 58 pontos amostrais em uma das áreas no intuito de mapear e identificar, no campo, os locais que estariam tendo maior e menor eficiência do uso da água.

A precipitação média acumulada durante o ciclo da cultura da soja na safra 2000/01 foi de 912 mm, para a cultura do milho na safra 2001/02, de 622 mm, para a cultura da soja safra 2002/03, de 1.195 mm, para a cultura do trigo safra 2003 uma precipitação de 649 mm, para a cultura da soja safra 2003/04, 897 mm e durante a cultura do milho safra 2004/05, de 518 mm.

A eficiência do uso da água em cada safra e em cada cultura encontra-se na Figura 3.12. Em todos os mapas, com exceção do milho 2004/05, há uma tendência de uma zona de maior eficiência de uso da água que também coincide com a região de maior altitude e menor declividade. Para a cultura da soja, na safra 2002/03, em virtude

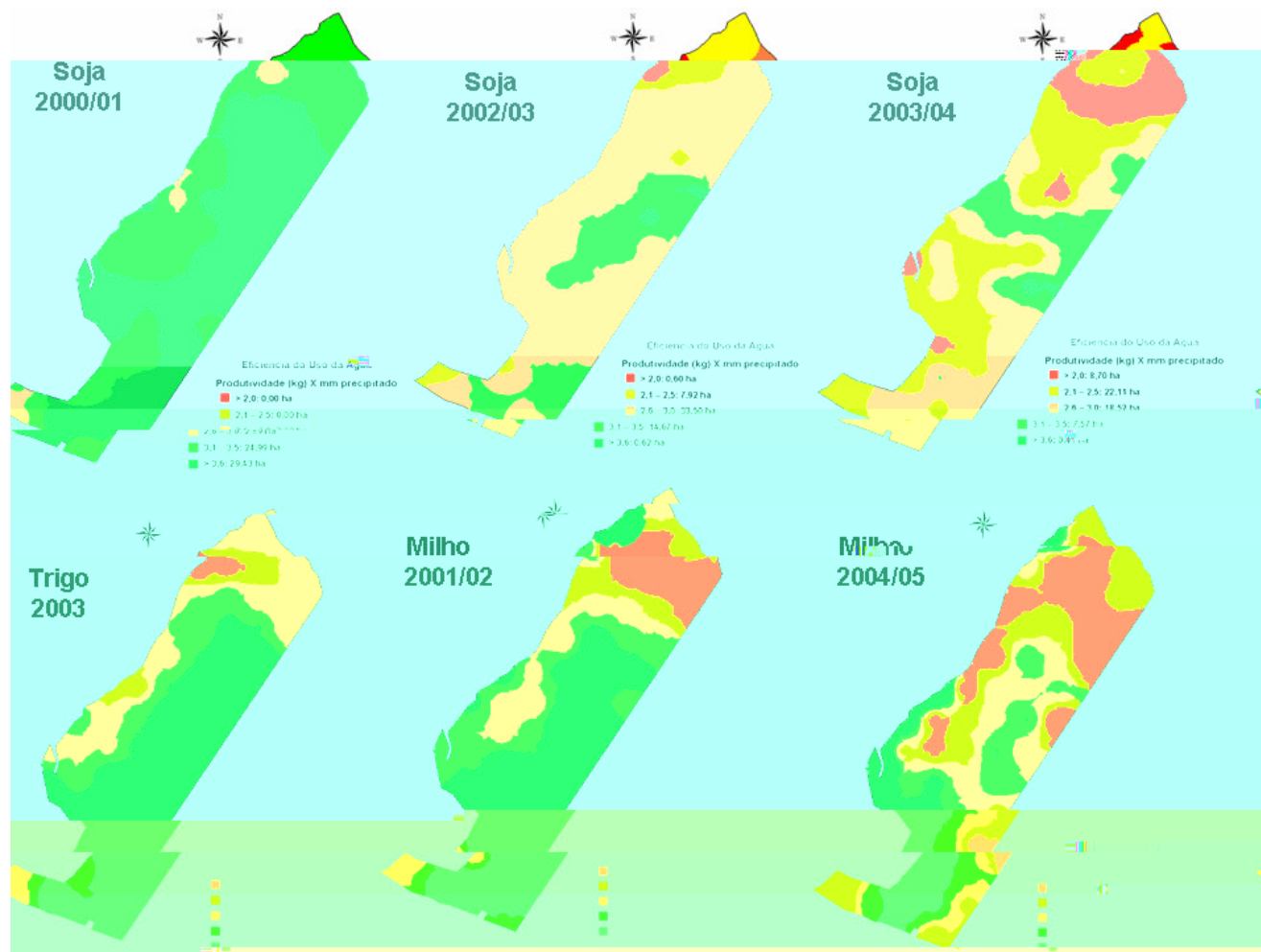


Figura 3.12 – Eficiência do uso da água em cada safra e cultura – Palmeira das Missões/RS.

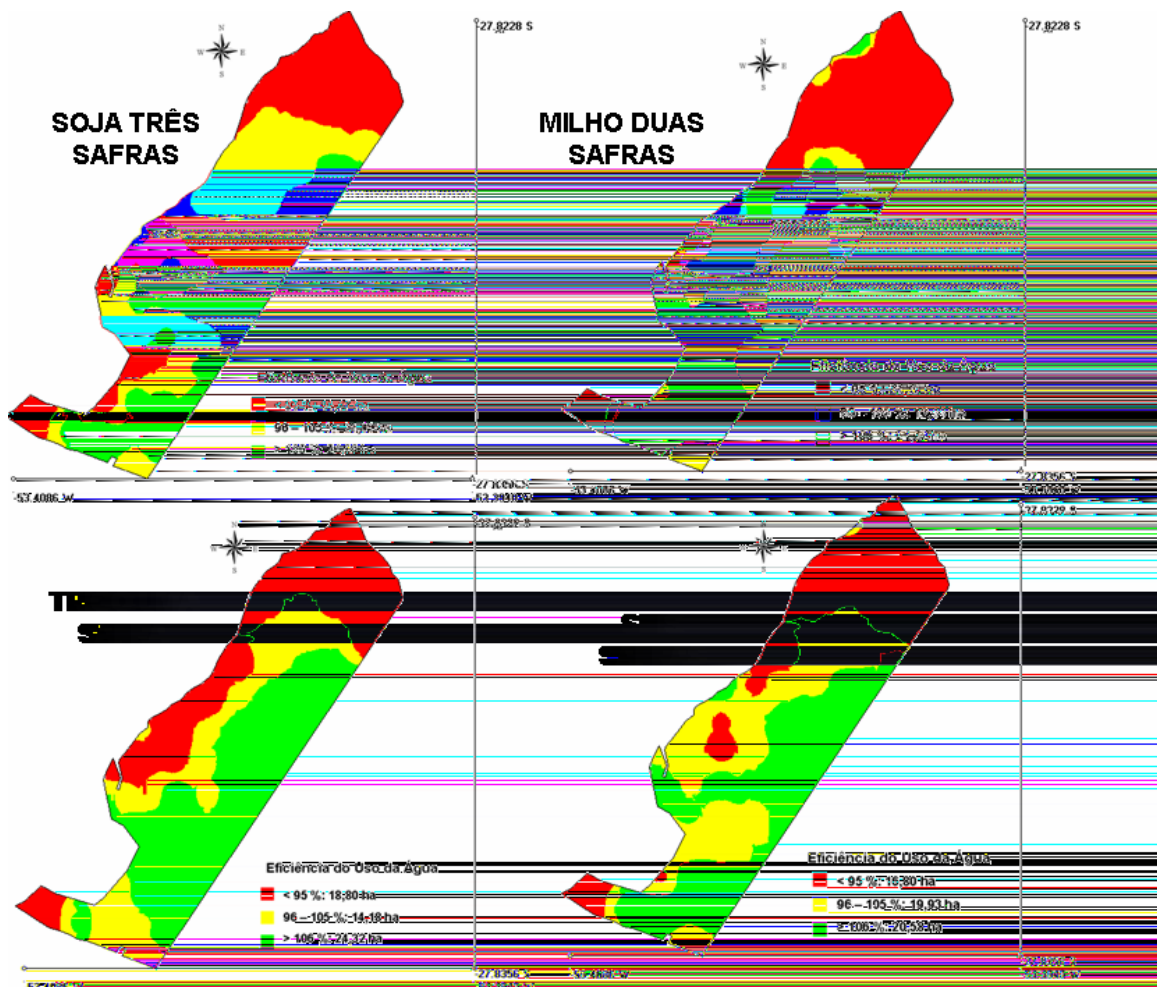


Figura 3.13 – Eficiência relativizada em relação a média da lavoura quanto o uso da água para a cultura da soja (sobreposição de três safras) para a cultura do milho (duas safras), da cultura do trigo (uma safra) e para a área geral (sobreposição de seis safras).

Para a cultura do milho, parece haver uma inversão entre anos com boa disponibilidade hídrica (safra 2001/02) e com déficit hídrico (safra 2004/05). No entanto houve coerência entre as duas safras, em uma região localizada ao norte da área, caracterizando esse local como de baixa eficiência. Isso fica mais bem caracterizado na Figura 3.13, pois tanto para a cultura da soja como do trigo se repetiu essa tendência.

As culturas do trigo e do milho mostraram ser mais eficientes, quando comparadas com a cultura da soja, em separar zonas de manejo e caracterizar locais de alto e baixo potencial produtivo. A eficiência do uso da água com seis eventos de colheita, normalizada em função da média, mostrou-se coerente com os resultados obtidos no capítulo 1. A zona de baixa eficiência de uso da água compreende 29% da área, a zona de média eficiência 35% e a zona de alta eficiência 36%. Embora na média das seis safras a zona de alta eficiência seja

superior à zona de baixa e de média eficiência da lavoura, nessa área está havendo um déficit médio de 1,7 % ou seja, o que, em anos de boa disponibilidade hídrica, se ganha em produtividade, em outros anos com limitações hídricas se perde.

Assim, os resultados obtidos apóiam ainda mais algumas teorias e suposições de autores como Mielniczuk (1999) que, embora haja interação entre as propriedades do solo de uma maneira muito dinâmica e complexa, e sob os sistemas conservacionistas ocorram laços de retro-alimentação positivos, o que impulsiona o sistema a um processo de melhoria da sua capacidade produtiva é fruto da interação entre os constituintes químicos, físicos e biológicos do solo. Isso sugere que outros indicadores do potencial produtivo do solo devem ser buscados, que não apenas aqueles de ordem química.

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.

3.4 CONCLUSÕES

As áreas de maior potencial produtivo foram as que apresentaram as maiores taxas de infiltração, seguidas pelas áreas de média e baixa produtividade, independente do método utilizado.

Os três métodos utilizados foram eficientes em identificar as diferenças na permeabilidade do solo nas unidades de alta, média e baixa produtividade.

Os locais de alta produtividade foram os que apresentaram o maior tempo para o estabelecimento do escoamento superficial, seguidos pelas áreas de média e baixa produtividade.

A permeabilidade do solo foi favorecida pelo aumento da atividade biológica, por possibilitar um fluxo preferencial de água através das galerias produzidas pelos organismos do solo, independente de se tratar de uma região de alta, média ou baixa produtividade.

A área estudada apresenta 29% da área com baixa eficiência de uso da água, 35% da área com média eficiência e 36% da área com alta eficiência.

3.5 AGRADECIMENTOS

É reconhecido o apoio prestado pela Fundação Agrisus – Agricultura Sustentável e sua conveniada a Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ) que financiam esse projeto. A prestatividade e colaboração, na obtenção dos dados, proporcionada pela Eng^a. Agr^a. Lisandra Pinto Della Flora, Eng^{os}. Agr^{os}. Gustavo Luiz Bellé e Ricardo Batista Cerezer Dellamea e os graduandos em agronomia da UFSM: Luciano Pés, Luciano Pizzuti, Ricardo Bergamo Schenato e Guilherme Londero.

3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEULTER, A.N. & CENTURION, J.F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.39, n.6.p.581-588,jun,2004.

BOUWER, H. Intake rate: Cylinder infiltrometer. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis I, physical and mineralogical methods**. 2ed., Madison, ASA/SSSA, 1986. p.825-844.

BRITO, L.T. de L.; LOUREIRO, B.T.; DENICULI, W. RAMOS, M.M.; SOARES, J.M. Influência do método na determinação da velocidade de infiltração. **R. Bras. Ci. Solo**, v.20, p. 503-507, 1996.

CAUDURO, F.A. & DORFMAN, R. **Manual de Ensaio de Laboratório e de Campo para Irrigação e Drenagem**. Porto Alegre: PRONI: IPH – UFRGS, s.d., 216p. 1986.

CONCEIÇÃO, P.C. **Indicadores de qualidade do solo visando a avaliação de sistemas de manejo**. 2002. 125p. Dissertação (Mestrado). Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria,

COOPER, R.L. Pesquisa sobre produtividade máxima da soja nos EUA. Informações Agronômicas – **POTAFOS**, n.101, março de 2003.

CUNHA, G.R. et al. Perda de rendimento potencial em soja no Rio Grande do Sul por deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v.6, n.1, p.111-119, 1998.

DENARDIN, J.E. Manejo adequado do solo para áreas motomecanizadas. In: **SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL, 1.,SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DO SOLO DO PLANALTO**, 3., 1984, Passo Fundo. Anais. Passo Fundo, PIUCS e UPF – Faculdade de Agronomia, p.107 – 124, 1984.

ELTZ, F.L.F.; REICHERT, J.M.; CASSOL, E.A. Período de retorno de chuvas em Santa Maria, RS. **R. Bras. Ci. Solo**, v.16, p. 265-269, 1992.

FANCELLI A. L., Ecofisiologia de plantas de lavouras. In: CARLESSO, R. et. al., **Irrigação por Aspersão no Rio Grande do Sul**, Santa Maria – RS, 165p. 2001.

FIORIN, J.E.; REINERT, D.J. & ALBUQUERQUE, J.A. Armazenamento de água no solo e crescimento e produção do milho. **R. Bras. Ci. Solo**, v.21, p. 249-255, 1997.

LANZANOVA, M.E. **Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária**. Santa Maria, 2005. 132p. Dissertação (Mestrado) –

Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

LIMA, C.A.G. & SILANS, A.P., Variabilidade Espacial da Infiltração e Água no Solo.

RESENDE, A.V. & SHIRATSUCHI, L.S. (Re)conhecendo a precisão na agricultura: o papel do agricultor. **Revista Plantio Direto**, jan/fev, 2007.

SIQUEIRA, O.J.F. & DENARDIN, J.E. Equipamento para medir a taxa de infiltração de água no solo utilizando anéis concêntricos em um sistema com nível de água constante. **R. Bras. Ci. Solo**, v.9, p.73-75, 1985.

SILVA, M.T.B.; REINERT, D.J. & KLEIN, V.A. Características de galerias de *Diloboderus abderus* (Sturm) e simulação de infiltração de água no solo. **Revista da Unicruz**, Cruz Alta, RS, v.3, n.1,p.1-6, 2000.

USDA-ARS **Soil quality test kit guide**, Soil Quality Institute, USDA/ARS.1998.

Van ES. H. & SCHINDELBECK, R. **Field procedures and data analysis for the Cornell Sprinkle Infiltrometer**. Cornell University, Department of Crop and Soil Sciences. extension publication R 03-01. 8 pages. 2003.

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001, 184 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

VIANA, J. H. M., **Distribuição espacial de atributos físico-químicos, mineralógicos e micromorfológicos de Latossolos visando o mapeamento de áreas produtivas**. 2005. 194p. Tese (Doutorado) – Viçosa: UFV. 2005.

YAMAMOTO, J. K. **Guia do Usuário. Sistema Geovisual 2.2**. 82 p. 2002.

CAPÍTULO 4: QUALIDADE FÍSICA DO SOLO EM ZONAS COM DIFERENTES POTENCIAIS DE PRODUTIVIDADE EM LAVOURAS MANEJADAS SOB PLANTIO DIRETO E AGRICULTURA DE PRECISÃO

4.1 INTRODUÇÃO

O uso, o manejo e o tempo de utilização podem promover alterações nas propriedades do solo. Segundo a Embrapa (1999), solos como os Latossolos, que ocupam aproximadamente 21 % da área do Rio Grande do Sul (RS), quando em seu estado natural, caracterizam-se pela boa estabilidade estrutural, devido à contribuição da matéria orgânica do solo (MOS) e aos elevados teores de argila, óxidos e oxihidróxidos de ferro e de alumínio, que atuam como agentes de estabilização dos agregados. No entanto, quando submetidos a uso intensivo e emprego sistemático de práticas agrícolas inadequadas, com predominância de preparo superficial excessivo e eliminação de resíduos culturais, tornam-se predispostos a ocorrência de elevadas perdas de solo por erosão e adensamento, tornando suas características originais significativamente comprometidas (Carpenedo & Mielniczuk, 1990).

A manutenção de uma adequada estrutura é condição básica para garantir altas produtividades (Perin et al., 2002). O potencial de rendimento das culturas é definido por Evans & Fischer (1999) como sendo o rendimento apresentado pelas culturas quando cultivadas em ambientes sem limitações no suprimento de água e nutrientes, e livre de outros estresses bióticos e abióticos (controle efetivo de insetos, doenças, plantas daninhas). Neste contexto, o sistema plantio direto (SPD) destaca-se como um sistema efetivo, sob as condições climáticas do Brasil, na contribuição para a reorganização do solo em níveis de ordem mais elevados - qualidade do solo. Quando a estrutura do solo é alterada, há influência direta sobre a movimentação de água, transferência de calor, aeração, densidade do solo e porosidade. Por conseqüência, a dinâmica da absorção dos nutrientes é também alterada (Letey, 1985).

Dentre os atributos usados para avaliar a qualidade do solo, destacam-se o teor de matéria orgânica do solo, a densidade do solo, a porosidade, a resistência à penetração, a permeabilidade do solo a água e maior proporção de macroagregados (Carpenedo &

Mielniczuk, 1990; Vezzani, 2001); o espaço poroso, a infiltração de água e o decréscimo da erosão (Castro Filho et al., 1998).

Como esses fatores apresentam amplas relações, muito tem se estudado sobre seus efeitos em sistemas de culturas e de manejos (Paladini & Mielniczuk, 1991; Silva &

Recentemente, com as ferramentas da agricultura de precisão (AP) como o Sistema de Posicionamento Global (GPS), mapas de produtividade e de atributos de solo, tornou-se possível integrar, em vários pontos da lavoura, dados de solo e planta para a geração de informações de manejo ou delimitação de zonas com diferentes potenciais de produtividade, reorientando a forma tradicional de se buscar as causas da expressão do potencial produtivo. Quando se conhece a localização das regiões que representam estrangulamento à expressão máxima da produtividade, é possível partir para a investigação dos fatores restritivos ao rendimento, dimensionar os impactos desses fatores e definir estratégias de como superá-los através do manejo adequado das condições ambientais (Argenta et al., 2003).

Partindo-se da hipótese inicial de que há relação entre a qualidade física do solo e a expressão do potencial produtivo, ou seja, quanto maior o nível organizacional do solo mais elevado e estável é a expressão da produtividade das culturas, os objetivos desse trabalho foram: (a) avaliar a densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total em zonas com histórico de alto, médio e baixo potencial de produtividade (b) comparar o nível de agregação do solo em situação de lavoura com seu estado em campo nativo e mata nativa, bem como em zonas com diferentes potenciais de produtividade.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

As determinações foram realizadas em duas áreas de lavoura, sendo uma localizada no município de Palmeira das Missões (57,3 ha), e a outra no município de Não-Me-Toque (132 ha), ambas no Planalto Médio do RS. O solo nos dois locais de estudo é classificado como um Latossolo Vermelho distrófico típico (Embrapa, 1999). Dentre os parâmetros utilizados para a escolha desses locais estão os históricos de manejo preconizando a rotação de culturas e o SPD já estabelecido e implantado há mais de dez anos, além dos históricos de produtividades disponíveis mediante a colheita georreferenciada.

Na Tabela 4.1 encontram-se o histórico das culturas implantadas nas áreas nos últimos anos.

Tabela 4.1 – Histórico de manejo empregado nas áreas de estudo em Palmeira das Missões e de Não-Me-Toque, RS.

PALMEIRA DAS MISSÕES					
	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05
INVERNO	Aveia	Nabo	Trigo	Trigo	Consórcio*
		FORAGEIRO			
VERÃO	Soja	Milho	Soja	Soja	Milho
NÃO-ME-TOQUE					
	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	
INVERNO	Aveia	Trigo	Aveia	Aveia	
VERÃO	Milho	Soja	Soja	Milho	

* Aveia + Nabo Forrageiro + Tremoço Azul

Dentre as determinações realizadas estão a porosidade total, macroporosidade, microporosidade densidade do solo, resistência do solo à penetração e estabilidade dos agregados em classes de diâmetro.

Num primeiro momento, procurou-se avaliar a distribuição horizontal da agregação do solo na área. Para tanto, realizou-se, apenas na área de Palmeira das Missões, a coleta de amostras de solo para a determinação do estado de agregação do solo seguindo a metodologia de malha de amostragem georreferenciada de 100 x 100 m totalizando 58 pontos georreferenciados (Figura 4.1). As profundidades amostragem foram de 0 a 5 e 5 a 10 cm. Em locais próximos a área, também foram coletadas amostras de solo buscando seu estado em condições de campo nativo e mata nativa.

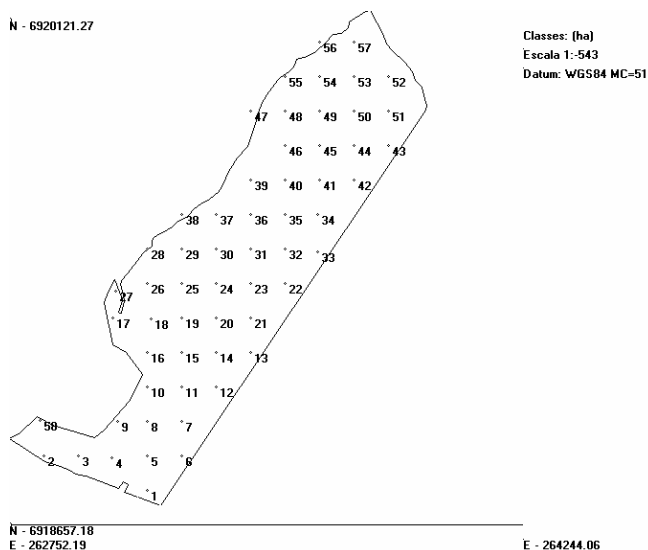


Figura 4.1 – Croqui da área de Palmeira das Missões com os 58 pontos de coleta georreferenciados.

Em laboratório, as amostras foram trabalhadas manualmente, para a individualização de agregados, observando-se as superfícies de clivagem. Para tanto, foram preparadas as amostras de agregados que passaram por peneiras de 8,00 mm e ficaram retidos nas peneiras de 4,76 mm, individualizando-as em três repetições de laboratório para cada amostra de campo. A separação e estabilidade dos agregados em água foram determinadas pelo método modificado de Kemper & Chepil (1965), descrito por Tisdall et al. (1978), através de tamizamento via úmida com auxílio de um aparelho em detalhe na Figura 4.2. Esse aparelho foi calibrado para funcionar durante 15 minutos com 38 oscilações por minuto, num intervalo espacial de 3,5 cm de amplitude entre o ponto mínimo e o máximo. A umidade residual foi determinada utilizando-se uma amostra adicional e secagem a 105° C até peso constante. Depois do umedecimento prévio por 15 minutos, as amostras foram sujeitas ao tamizamento no aparelho de Yoder adaptado com as peneiras nas seguintes classes de diâmetro: 4,76; 2,00; 1,00; e 0,21 mm.

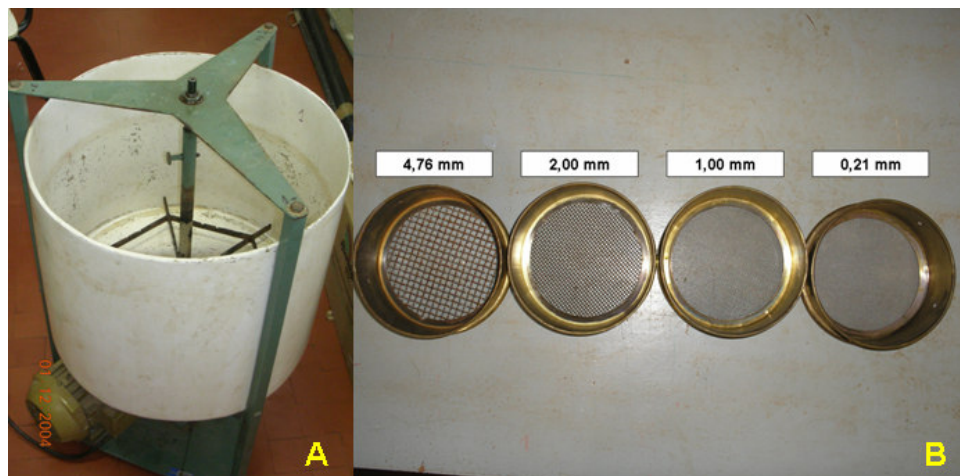


Figura 4.2 – Detalhe do aparelho de Yoder adaptado (A) com o conjunto de peneiras (B) utilizado para o tamizamento e a separação dos agregados em classes.

Depois do término das oscilações, os conteúdos retidos em cada uma das peneiras foram coletados e secos em estufa a 105° C por 24 horas ou até atingir peso constante e pesado posteriormente. Os agregados da classe menor que 0,21 mm foram calculados pela diferença, tomando-se o peso inicial da amostra menos a umidade residual e o peso das demais classes. Todos esses procedimentos foram realizados conforme Embrapa (1997).

Foram calculados o diâmetro médio geométrico (DMG) e a porcentagem de agregados estáveis em cada classe (8,00 - 4,76; 4,76 - 2,00; 2,00 - 1,00; 1,00 - 0,21 e menor que 0,21 mm). As equações utilizadas para efeitos de cálculos seguiram as proposições da metodologia de Tisdall et al. (1978).

Em cada amostragem, o teor de carbono orgânico no solo foi determinado pelo método de combustão úmida descrito por Nelson & Sommers (1986). Quando da geração de mapas de agregados estáveis em água, esses foram interpolados pelo inverso do quadrado da distância, utilizando-se o programa CR-Campeiro5 desenvolvido pelo setor de Geomática da UFSM, (Giotto et al., 2004).

Para a segunda etapa desse trabalho (outubro de 2005), baseando-se nos mapas de produtividade das culturas já discutidos no capítulo I, foram definidos pontos com histórico de altas, médias e baixas produtividades. Nesses locais foram escolhidos cinco pontos representativos por zona potencial produtiva, totalizando 15 pontos de amostragem por área (Figura 4.3). Esses pontos foram localizados a campo pelo auxílio de um aparelho GPS.

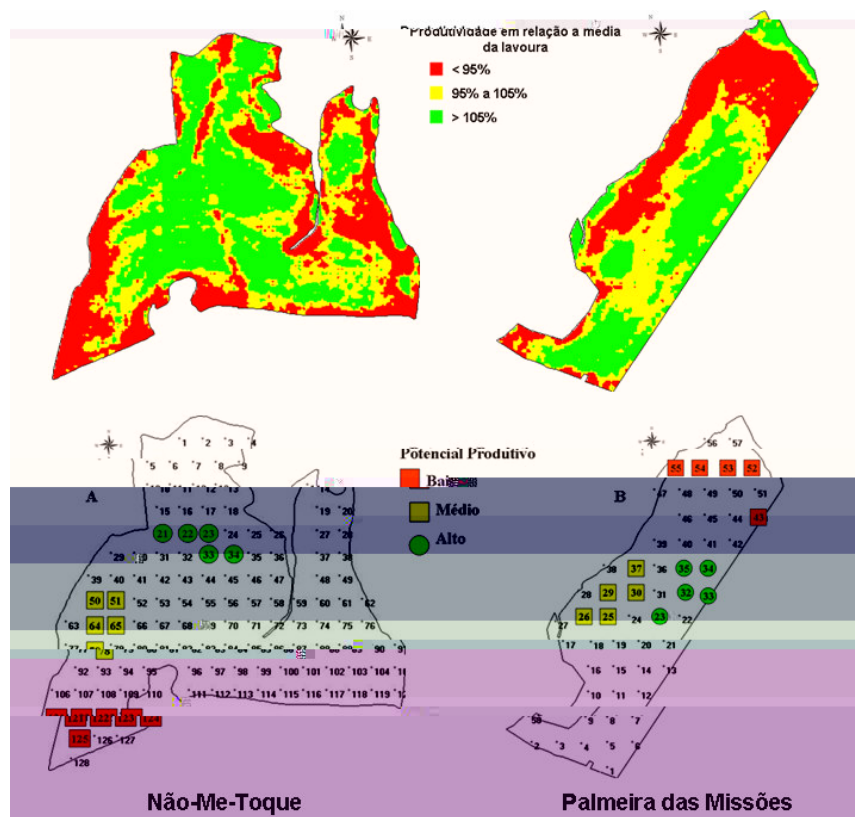


Figura 4.3 – Vista dos mapas de produtividade sobrepostos (quatro mapas na área de Não-Me-Toque e seis mapas para a área de Palmeira das Missões) e dos pontos amostrais (abaixo) para avaliações físicas do solo.

Para as determinações da porosidade e densidade do solo foram retiradas amostras, com estrutura indeformadas, nas camadas de 0-5; 5-10 e 10-20 cm (Figura 4.4). A obtenção

das amostras para densidade consistiu da introdução, no solo, de anéis volumétricos de 3,0 cm de altura e 5,5 cm de diâmetro, de modo a coincidir o meio do cilindro com a metade da profundidade previamente estabelecida.

Para a determinação da porosidade do solo, as amostras indeformadas foram saturadas por 48 horas em bandeja com água até dois terços da altura do anel. Após o período de saturação, as amostras foram drenadas no potencial equivalente a $-0,006$ Mpa utilizando uma mesa de tensão. A partir dos valores de umidade com saturação da amostra e dos valores de retenção de água, calcularam-se os valores de macro, micro e porosidade total do solo:

Densidade do solo (**Ds**)= Peso do solo seco/volume do cilindro;

Microporosidade (**Mi**) = umidade do solo no potencial de $-0,006$ Mpa * Ds;

Macroporosidade (**Ma**) = (Peso solo saturado – Peso do solo no potencial de $-0,006$ Mpa) / volume do cilindro

Porosidade total (**Pt**) = % de Mi + % de Ma

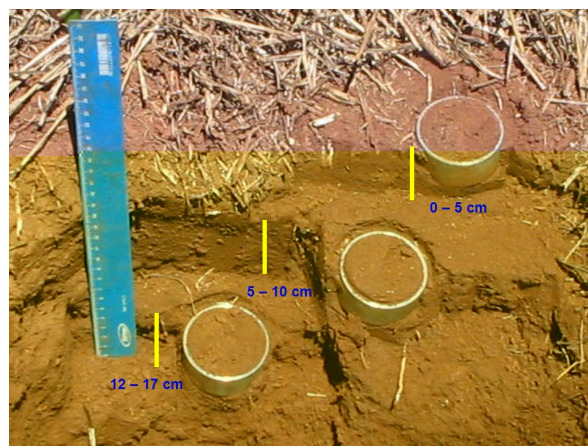


Figura 4.4 – Detalhe da coleta das amostras indeformadas de solo, nas três profundidades pré-definidas.

A resistência do solo à penetração foi determinada em duas épocas na área de Palmeira das Missões (abril e outubro de 2004), e em outubro de 2004 na área de Não-Me-Toque. A profundidade de amostragem foi até 0,50 m e o equipamento utilizado foi um penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR STOLF, segundo a metodologia proposta por Stolf et al. (1993), com cinco repetições por ponto (25 repetições por unidade potencial produtiva). Os valores obtidos em kgf cm^{-2} foram transformados em MPa conforme Stolf (1991).

As demais análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa Geovisual (Yamamoto, 2002) e as médias comparadas duas a duas pelo Teste – T, auxiliado pelo programa Microsoft Office Excel® 2003.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de argila em cada ponto avaliado encontra-se na Tabela 4.2. Na área de Palmeira das Missões, onde foi realizada a avaliação da textura em camadas distintas, percebe-se a ocorrência um gradiente textural dentro do horizonte A, como pode ser comprovado em alguns pontos, como 35A, 25M, 29M, 30M, 37M e 55B. Em Palmeira das Missões, na média, a camada de 0 a 0,05 m apresentou um teor de argila no solo de 69 g kg^{-1} , a camada de 0,05 a 0,10 m, um teor de 75 g kg^{-1} e a camada de 0,10 a 0,20 m um teor de 79 g kg^{-1} . A área de Não-Me-Toque (camada 0 – 0,10 m) apresentou um teor de argila médio de 57 g kg^{-1} . No entanto, em 33 % dos pontos a textura foi mais argilosa (classe 1 $> 60 \text{ g kg}^{-1}$) e o restante dos pontos entre 41 a 60 g kg^{-1} (classe 2). Considerando que o teor de argila é um dos principais agentes cimentantes e responsáveis pela formação de estruturas de agregados mais complexas para Latossolos, essa variabilidade nos teores de argila entre os pontos pode estar interferindo na variabilidade estrutural as áreas (Campos et al., 1995).

O maior efeito das zonas potenciais produtivas manifestou-se sobre a classe de agregados maiores que 4,76 mm e menores que 0,21 mm (Figura 4.5), razão pela qual se centrou a discussão nessas duas classes de agregados. Para comparação dos efeitos, tomou-se como referencia a mata nativa e o campo nativo nunca cultivado, como condições originais de agregação do solo.

Tabela 4.2 – Teor de argila e MOS nos pontos amostrados nas áreas de Palmeira das Missões e Não-Me-Toque (RS).

Pontos	Palmeira das Missões						Não-Me-Toque	
	0 – 0,05 m		0,05 – 0,10 m		0,10 – 0,20 m		0 – 0,10 m	
	Argila	MOS	Argila	MOS	Argila	MOS	Pontos	Argila
	g kg^{-1}							
23A*	75	4,70	50	3,50	70	2,39	21A	52
32A	62	4,82	70	3,43	72	3,05	22A	66
33A	62	4,18	62	3,18	79	2,90	23A	61
34A	62	3,76	70	3,14	67	3,08	33A	54
35A	51	4,43	64	3,42	74	2,98	34A	53
Média	62	4,38	63	3,33	72	2,88		57
25M**	60	3,97	77	2,99	86	2,24	50M	58
26M	75	3,24	81	2,90	86	2,54	51M	57
29M	67	3,52	86	2,61	90	2,67	64M	63
30M	70	2,95	72	2,53	88	2,21	65M	63
37M	74	2,90	79	2,82	81	2,70	78M	67
Média	69	3,32	79	2,77	86	2,47		62
43B***	75	3,18	88	2,94	79	2,73	121B	58
52B	72	3,18	77	2,79	70	2,74	122B	51
53B	70	3,45	79	2,84	75	3,10	123B	55
54B	81	3,08	83	2,89	77	2,73	124B	49
55B	79	2,49	81	2,28	85	2,04	125B	46
Média	75	3,08	82	2,75	77	2,67		52
Média G	69	3,59	75	2,95	78	2,67		57

* Zona potencial de alta produtividade; ** Média produtividade; *** Baixa Produtividade.

A classe de agregados maior que 4,76 mm foi eficiente em separar as zonas potenciais produtivas em alta, média e baixa. Campos et al. (1995) encontrar(s).4472(d0)-ul2.0421(t)-t.80892(l)1.46383(a) 4J 297p67.820892(s)-4.6166()-5.340381(v)2.820892(s)-.6154.5)-26.d279(odut)-.21279(é)-õ.83068(m)-5.362(ona)-2.8 297.

Na avaliação realizada em 2005 (Figura 4.6), não houve diferença estatística entre a zona de alta produtividade e a de média produtividade (camada de 0 – 0,05 m). Isso demonstra que a zona de média produtividade pode estar em transição para uma zona de alta produtividade. É possível que as adições de MOS, decorrentes do manejo das plantas de cobertura possam estar contribuindo com maior suprimento de carbono ao solo, favorecendo a atividade microbiana e, conseqüentemente, a estabilização dos agregados (D’Andrea et al., 2002).

Houve a mesma tendência entre as zonas de manejo na camada de 0,05 – a 0,10 m, em Palmeira das Missões, e de 0 – 0,05 m em Não-Me-Toque (Figura 4.7), no entanto, nessa última área, a camada de 0,05 – 0,10 m também foi eficiente em discriminar as zonas de manejo.

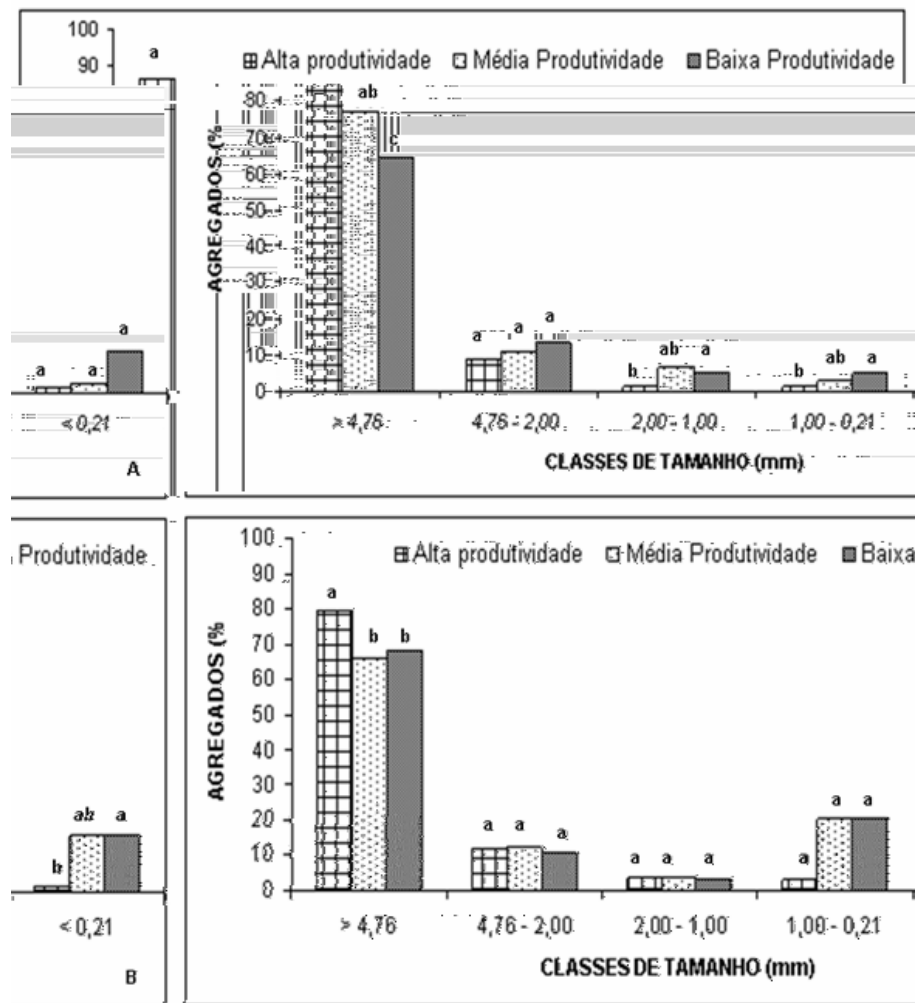


Figura 4.6 – Distribuição de agregados estáveis em água em classes de tamanho nas camadas de 0 a 5 cm (A) e 5 a 10 cm (B) em três zonas de rendimento em Palmeira das Missões (RS) – 2005. Valores seguidos pela mesma letra, dentro de cada classe, não diferem significativamente pelo Teste - T a 5% de probabilidade.

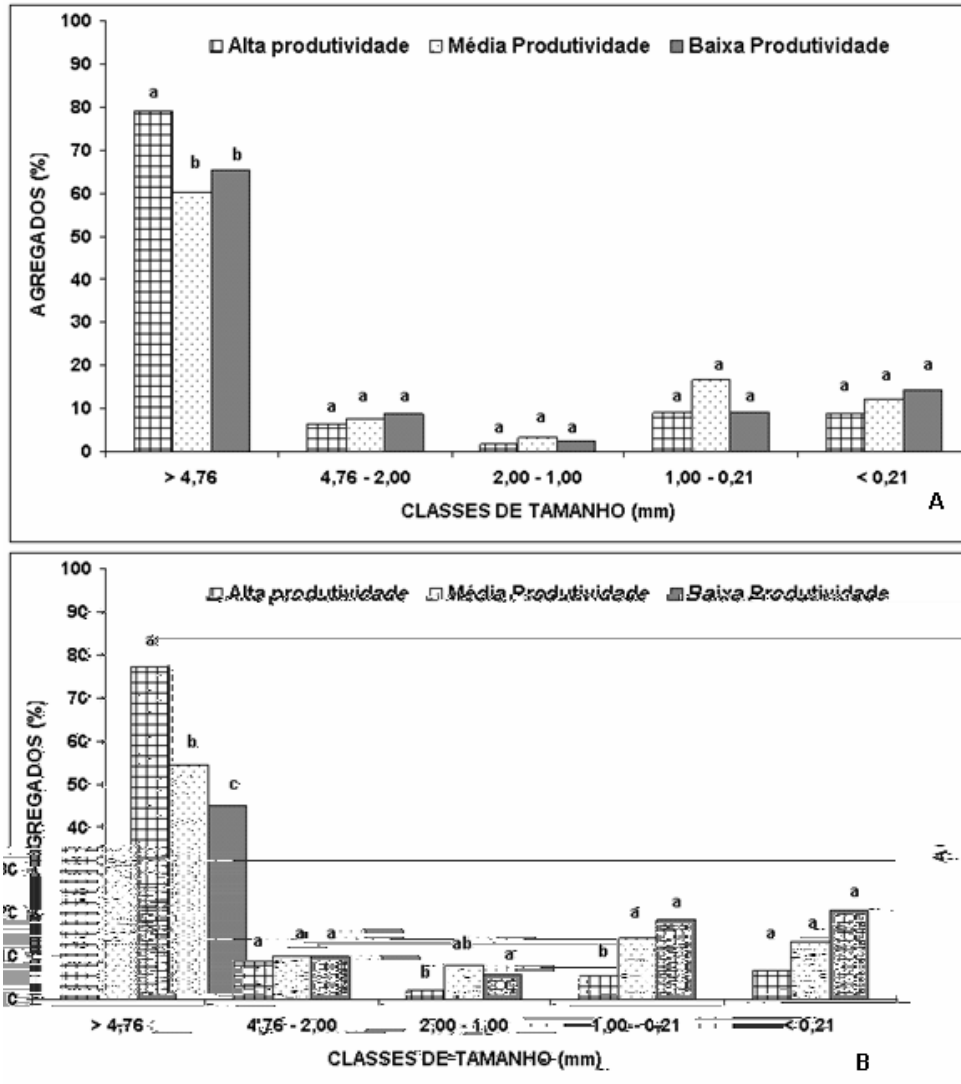


Figura 4.7 – Distribuição de agregados estáveis em água, em classes de tamanho, nas camadas de 0 a 5 cm (A) e 5 a 10 cm (B), em três áreas potenciais produtivas em Não-Me-Toque (RS) – 2005. Valores seguidos pela mesma letra dentro de cada classe, não diferem significativamente pelo Teste - T a 5% de probabilidade.

Avaliando a evolução do estado de agregação do solo na camada de 0 a 0,05 m, em cada uma das zonas de manejo (Figura 4.8), observa-se que, na zona de alta e de média produtividade, a agregação foi significativamente maior já em 2002, quando comparada com o campo nativo. Quando comparada a avaliação de 2002 com a de 2005, a zona de alta não difere da zona de média produtividade. Dentre as hipóteses levantadas propõe-se que pode estar havendo uma certa estabilidade (equilíbrio) do ponto de vista de organização do sistema ou que nessas zonas, como já possuem uma maior organização, o tempo entre as avaliações de três anos não foi suficiente em captar possíveis variações geradas pelas práticas de manejo.

Para a zona de baixa produtividade, evidenciou-se uma melhoria, quando comparada a avaliação em 2002 a avaliação em 2005. Nessa última coleta, a zona de baixa produtividade se igualou a uma situação de agregação em campo nativo (agregados maiores que 4,76 mm). Isso pode ser justificado pela adição, na zona de baixa produtividade, de duas toneladas/ha de cama de peru (esterco) em 2002 e 3,5 toneladas/ha no inverno de 2003. Possivelmente essa elevada quantidade de material orgânico, utilizado como condicionador do solo, contribuiu para essa rápida melhoria na qualidade estrutural.

Tanto a vegetação como seus resíduos protegem os agregados de camadas superficiais contra a desagregação pelo impacto da chuva e variações bruscas de umidade. Ao mesmo tempo, o contínuo fornecimento de material orgânico, quer por secreções radiculares, quer por renovação do sistema radicular e da parte aérea, dos resíduos da colheita ou fontes externas de carbono, serve de fonte de energia para a atividade microbiana, cujos subprodutos, constituídos de moléculas orgânicas em diversas fases de decomposição, atuam como agentes de formação e estabilização dos agregados (Harris et al., 1966). É importante salientar que a recuperação da estabilidade estrutural (zonas de baixo e de médio potencial produtivo), ou a manutenção das características originais (zona de alta), dependem da associação de um sistema adequado de rotação de culturas que proporcione continuamente uma cobertura na superfície, seja pelos resíduos culturais, seja por plantas em fase vegetativa.

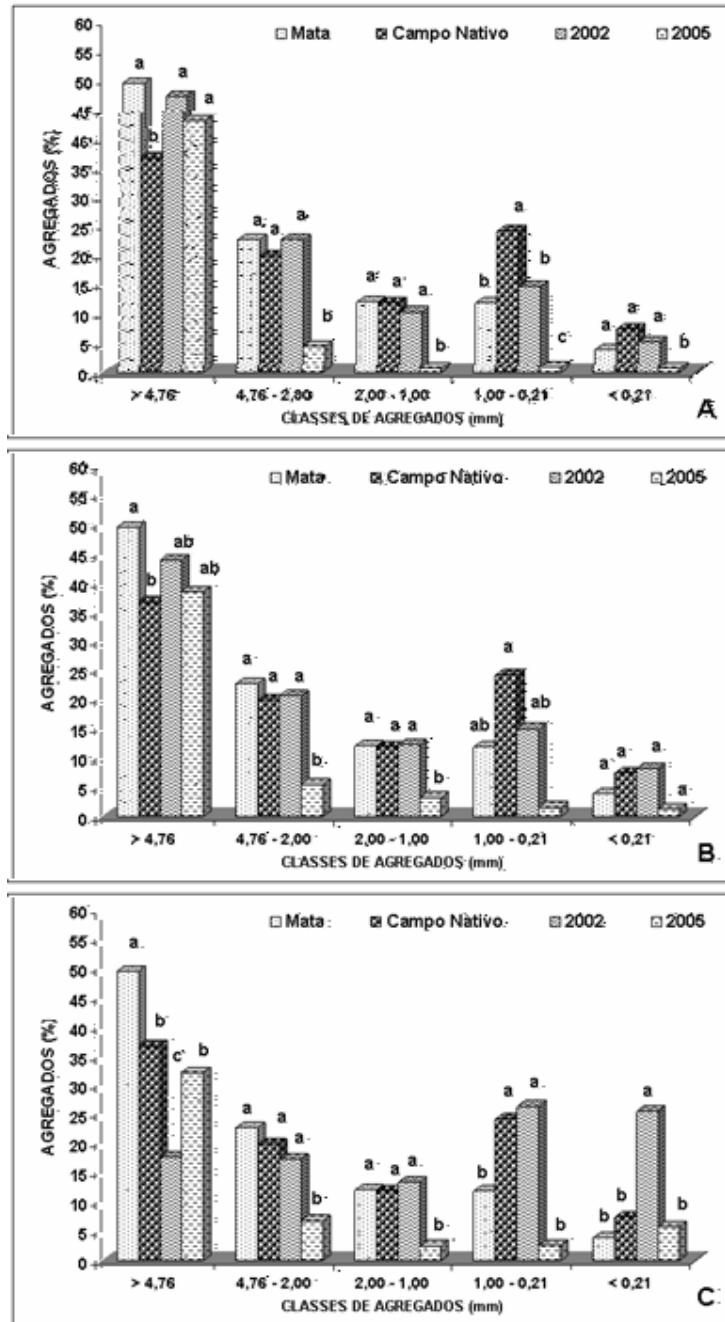


Figura 4.8 – Evolução do estado de agregação do solo na camada de 0 a 0,05 m, numa área de alta produtividade (A), média produtividade (B) e baixa produtividade (C) comparado ao seu referencial (mata e campo nativo) em Palmeira das Missões (RS). Valores seguidos pela mesma letra dentro de cada classe, não diferem significativamente pelo Teste - T a 5% de probabilidade

Tanto na área de Palmeira das Missões como na área de Não-Me-Toque, para o DMG a zona de alta produtividade apresentou diferença estatística em relação às zonas de média e de baixa produtividade, que não diferiram entre si (Figura 4.9). Mesmo assim, os valores absolutos mostram uma tendência, na zona de média produtividade, de elevação em seu nível

de ordem organizacional (reestruturação) de maneira que, com a intensificação de práticas de manejo que contemplem adições elevadas de material orgânico no sistema, aquela zona pode, com o tempo, tornar-se uma zona de alta produtividade.

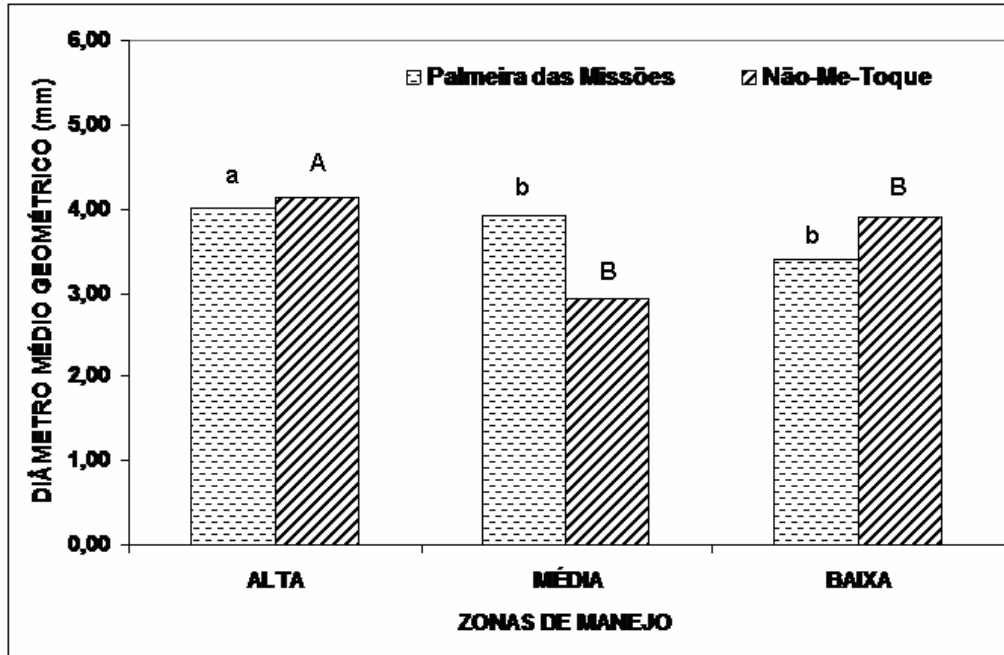


Figura 4.9 – Diâmetro Médio Geométrico na camada 0 – 0,05 m na área de Palmeira das Missões e de Não-Me-Toque (RS) – 2005. Valores seguidos pela mesma letra minúscula ou maiúscula, não diferem significativamente pelo Teste - T a 5% de probabilidade (duas amostras presumindo variâncias equivalentes).

Os valores de DMG (Figura 4.9) mostraram a mesma tendência de comportamento da classe de agregados maior que 4,76 mm indicando (Figura 4.10), conforme Alvarenga et al. (1986) e Castro Filho et al. (1998), que essa classe de agregados pode ser usada para, de maneira eficiente, expressar o estado da agregação do solo.

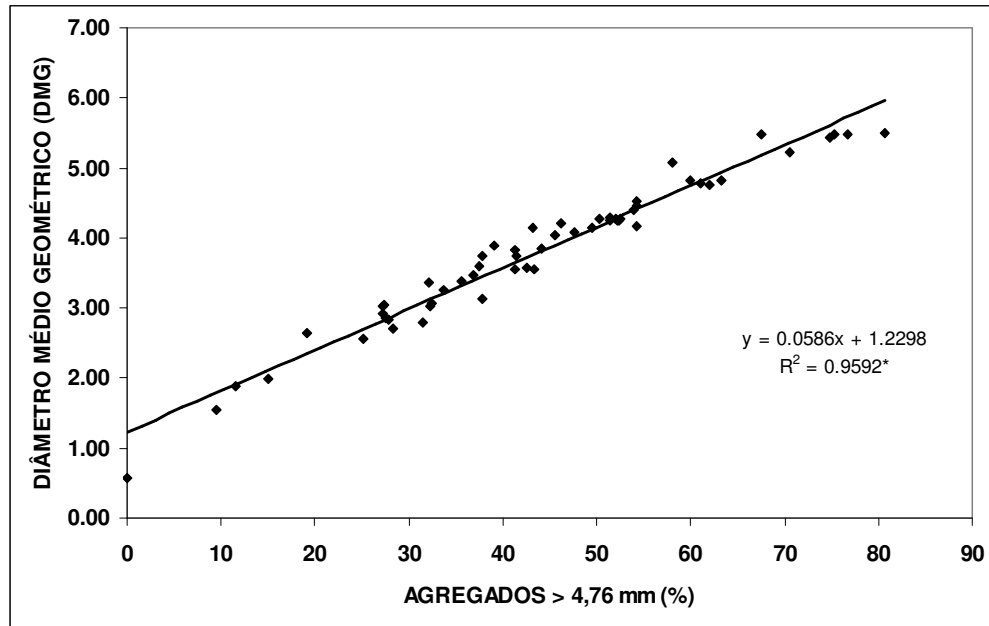


Figura 4.10 – Relação entre os agregados na classe maior que 4,76 mm e o DMG – Palmeira das Missões, 2002 (* significativo pelo Teste T a 1% de probabilidade).

Nos mapas da Figura 4.11 também há essa confirmação, pois especialmente, o mapa do DMG e de agregados na classe maior que 4,76 mm são semelhantes. De uma maneira geral, a variabilidade na fragmentação do solo é bem clara, quando da observação dos mapas. Assim, a apresentação dos resultados espacializados na forma de mapas pode ser uma ferramenta importante, tanto para planejamento e ações de manejo (por exemplo: adição localizada de dejetos de animais), como para o monitoramento da evolução na qualidade do solo, como já enfatizado em trabalhos como de Vezzani et al. (2002).

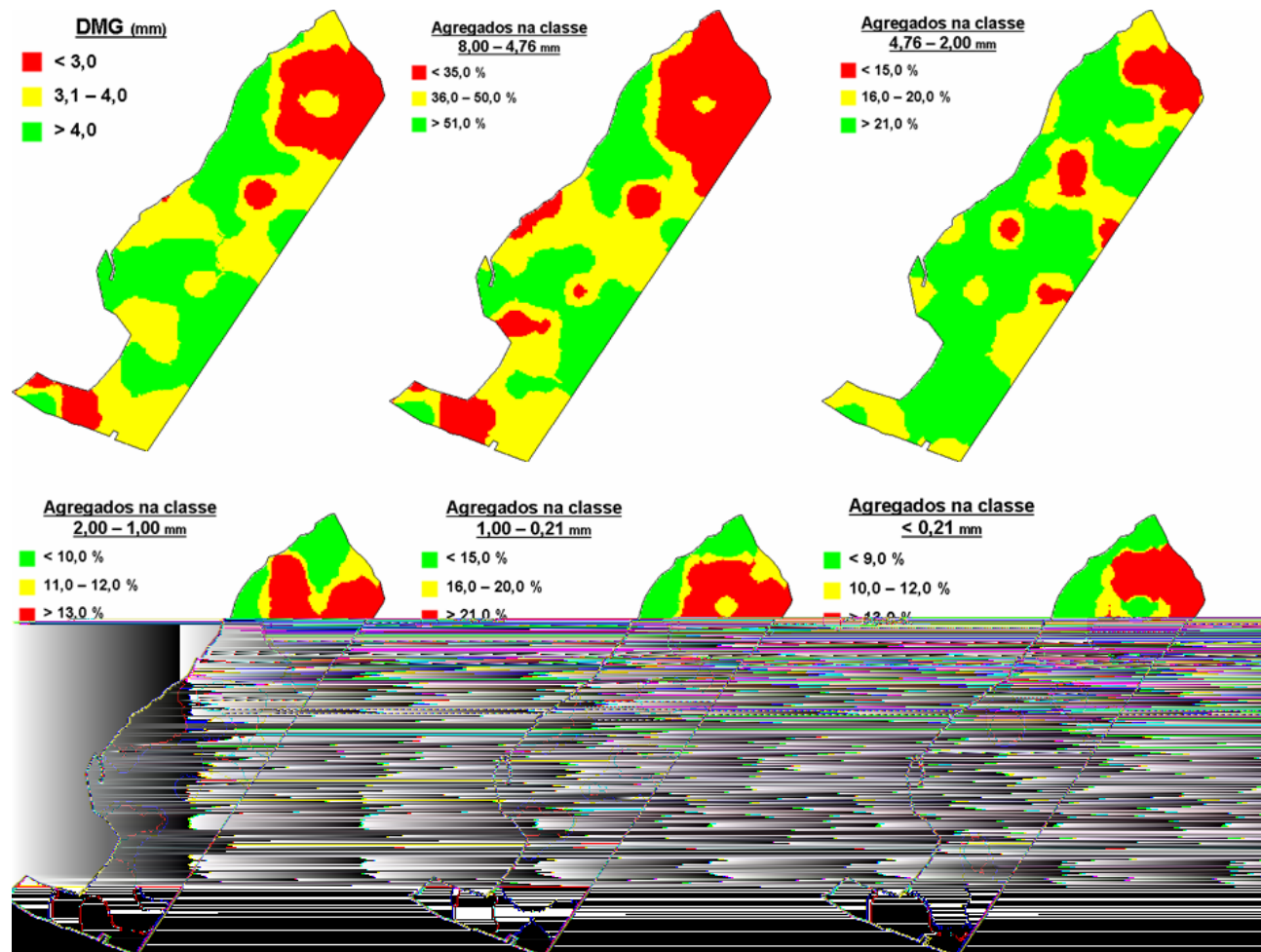


Figura 4.11 – Distribuição horizontal do DMG e das classes de agregados na camada de 0 a 0,05 m, Palmeira das Missões (RS) – 2002.

Na área de Palmeira das Missões, a zona de alta produtividade apresentou os menores valores de densidade do solo nas três profundidades avaliadas, não diferindo estatisticamente com a zona de média produtividade nas camadas de 0 – 0,05 m e 0,05 – 0,10 m. Em Não-Me-Toque, este mesmo comportamento foi percebido para a camada de 0,10 – 0,20 m. Segundo o proposto por Reichert et al. (2003), nas duas áreas avaliadas, os valores da densidade do solo, nas zonas de média e baixa produtividade, já estariam dentro de limites restritivos (1,4 a 1,6 g cm⁻³ para solos argilosos), nas camadas de 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m. Porém os valores encontrados não significam, necessariamente, que houve aumento na densidade do solo na zona de baixa produtividade, mas redução dos valores nas zonas de alta produtividade. Por ser uma zona de manejo cujos agregados de maior diâmetro estão em maior proporção, há um aumento do volume de poros, principalmente dos macroporos, e conseqüentemente, diminuição da densidade.

Tanto na área de Palmeira das Missões como na de Não-Me-Toque, não houve diferença estatística para o atributo macroporos entre as zonas de manejo em nenhuma das profundidades avaliadas (Tabela 4.3). No entanto, se analisarmos a camada de 0 – 0,05 m, onde há maior influência do sistema radicular, atividade biológica e da MOS, em valores absolutos a zona de alta produtividade apresentou tendência de valores mais elevados, quando comparada com as demais zonas de manejo. Não foram registrados valores de porosidade de aeração inferior a 0,10 dm³ dm⁻³, valor este sugerido por Reinert et al. (2001) como limitante, em nenhuma das zonas ou profundidades avaliadas. Nem a macroporosidade nem a porosidade total foram sensíveis a diferença de qualidade física do solo entre as zonas potenciais de rendimento.

Houve diferença significativa entre a microporosidade na camada de 0,10 – 0,20 m entre a zona de alto potencial produtivo e as zonas de médio e baixo potencial, nas duas áreas estudadas. Para a área de Não-Me-Toque, essa diferenciação entre as zonas já se mostrou na camada de 0,05 – 0,10 m. Segundo Stone & Silveira (2001), o aumento da microporosidade no solo sob plantio direto pode não afetar negativamente o desenvolvimento e a distribuição do sistema radicular. Henklain et al. (1996) atribuem a qualidade dos poros que, embora menores, apresentam-se contínuos ao longo do perfil, aos canais e galerias formados pela atividade biológica e decomposição das raízes das culturas anteriores e às fendas provocadas pelos gradientes de umidade.

Em algumas situações, dependendo das condições climáticas, a presença maior de microporos pode até não ser prejudicial à produtividade das culturas por contribuir para uma maior retenção de água no solo. Isso pode explicar, em partes, as produtividades obtidas na

cultura do milho na safra 2004/05 (Capítulo I – Figura 1.8). Por ser um ano de déficit hídrico acentuado, a região caracterizada como sendo de baixa produtividade acabou sendo uma região de alta produtividade. Mesmo assim, no conjunto das seis safras analisadas a baixa qualidade física na zona de baixa produtividade mostrou ser determinante para os baixos rendimentos. Os resultados para a porosidade total (Tabela 4.3) reforçam as discussões anteriores para a macroporosidade e microporosidade.

Na área de Palmeira das Missões, a resistência do solo à penetração (Figura 4.12) indicou haver presença de camadas adensadas a partir de 0,06 m de profundidade, acentuando-se na camada entre 0,12 – 0,14 m. Na zona de alta produtividade, os valores mais elevados foram de 3,5 e 4,2 MPa para as leituras de abril e outubro de 2004, respectivamente, enquanto que para a zona de média produtividade, esses valores foram de 3,7 e 5,4 MPa, e na de baixa produtividade, os maiores valores foram de 4,3 e 5,4 MPa. Na área de Não-Me-Toque também se observou aumento da resistência do solo na camada de 0,12 – 0,14 m, sendo que os valores foram de 2,9; 3,2 e 3,8 MPa, respectivamente, para as zonas de alto, médio e baixo potencial produtivo.

O teor médio de água no solo na avaliação de outubro, para Palmeira das Missões, foi de 0,35; 0,52; 0,19; 0,30 e 0,48 kg kg⁻¹ respectivamente, para as profundidades de 0 – 0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,30; 0,30 – 0,40 e 0,40 – 0,50 m. Para a área de Não-Me-Toque, a umidade foi de 0,29; 0,20; 0,23; 0,26 e 0,23 kg kg⁻¹ respectivamente, para as profundidades de 0 – 0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,30; 0,30 – 0,40 e 0,40 – 0,50 m. Segundo dados obtidos por Dias Junior (2000), os valores de umidade na área de Não-Me-Toque estariam dentro dos limites tidos como ótimos ou condições ideais de manejo para os Latossolos (0,20 a 0,30 kg kg⁻¹). No entanto, na área de Palmeira das Missões, os valores de resistência podem ter sido influenciados pelos valores de umidade mais elevados, o que conduz a pensar que os valores de resistência poderiam ser ainda maiores quando de uma amostragem em condições de umidade menor, pois para uma mesma condição, a umidade é o fator que governa a quantidade de deformação que poderá ocorrer no solo, refletindo sua densidade inicial e o estado de compactação (Dias Junior, 1999).

Nas zonas com histórico de alta produtividade, em ambas as áreas, os valores de resistência foram superiores aos valores tidos como críticos (na faixa de 2 a 5 MPa) por vários autores (Camargo & Aleoni, 1997; Silva et al., 1997; Reinert et al., 2001). Embora tenham encontrado uma camada compactada de 0,075 – 0,17 m, Silva et al. (2000) observaram que a maior resistência do solo a penetração (3,5 MPa) não reduziu a produtividade da soja.

Supõe-se que a qualidade física do solo na zona de alta produtividade deve estar sendo beneficiada por outros fatores, como o maior armazenamento de água no solo, fazendo com que, nos períodos com maior conteúdo de água no solo durante o ciclo das culturas, reduzam-se temporariamente os valores de resistência e possibilite-se o desenvolvimento das raízes. Acresce-se a este fato a atividade biológica, que forma canais preferenciais ao desenvolvimento radicular.

Embora este trabalho tenha a limitação de ser baseado em apenas duas áreas de lavoura comercial no RS, os resultados obtidos indicam existir variabilidade espacial na qualidade física do solo. Ainda, para vários indicadores, foi possível distinguir as zonas de potencial de rendimento. Para a maioria dos indicadores, os valores críticos se ajustaram ao potencial de rendimento, com exceção da resistência a penetração.

Tabela 4.3 – Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) em três zonas potenciais produtivas (alta, média e baixa produtividade) em duas áreas de lavoura do RS.

Zonas Potenciais	Não-Me-Toque				Palmeira das Missões			
	Ds	Ma	Mi	Pt	Ds	Ma	Mi	Pt
	g cm ⁻³		dm ³ dm ⁻³		g cm ⁻³		dm ³ dm ⁻³	
0,0 a 0,05 m								
Alta Produção	1,188 a*	0,194 ns**	0,352 ns	0,532 ns	1,336 ns	0,162 ns	0,438ns	0,600 ns
Média Produção	1,281 ab	0,168 ns	0,341 ns	0,509 ns	1,386 ns	0,159 ns	0,433 ns	0,592 ns
Baixa Produção	1,337 b	0,185 ns	0,321 ns	0,506 ns	1,373 ns	0,159 ns	0,457 ns	0,616 ns
0,05 a 0,10 m								
Alta Produção	1,431 a	0,113 ns	0,371 a	0,484 ns	1,497 ns	0,105 ns	0,455 ns	0,561 a
Média Produção	1,501 ab	0,129 ns	0,326 b	0,495 ns	1,505 ns	0,117 ns	0,468 ns	0,585 ab
Baixa Produção	1,554 b	0,127 ns	0,325 b	0,452 ns	1,490 ns	0,125 ns	0,477 ns	0,602 b
0,10 a 0,20 m								
Alta Produção	1,458 a	0,115 ns	0,358 a	0,472 a	1,459 a	0,131 ns	0,431a	0,562 a
Média Produção	1,540 b	0,137 ns	0,312 b	0,449 ab	1,547 b	0,115 ns	0,477b	0,582 ab
Baixa Produção	1,563 b	0,102 ns	0,329 b	0,431 b	1,491 b	0,137 ns	0,472 b	0,609 b

* Dados não seguidos pela mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste T de Student 5% de probabilidade de erro. ** ns = não significativo.

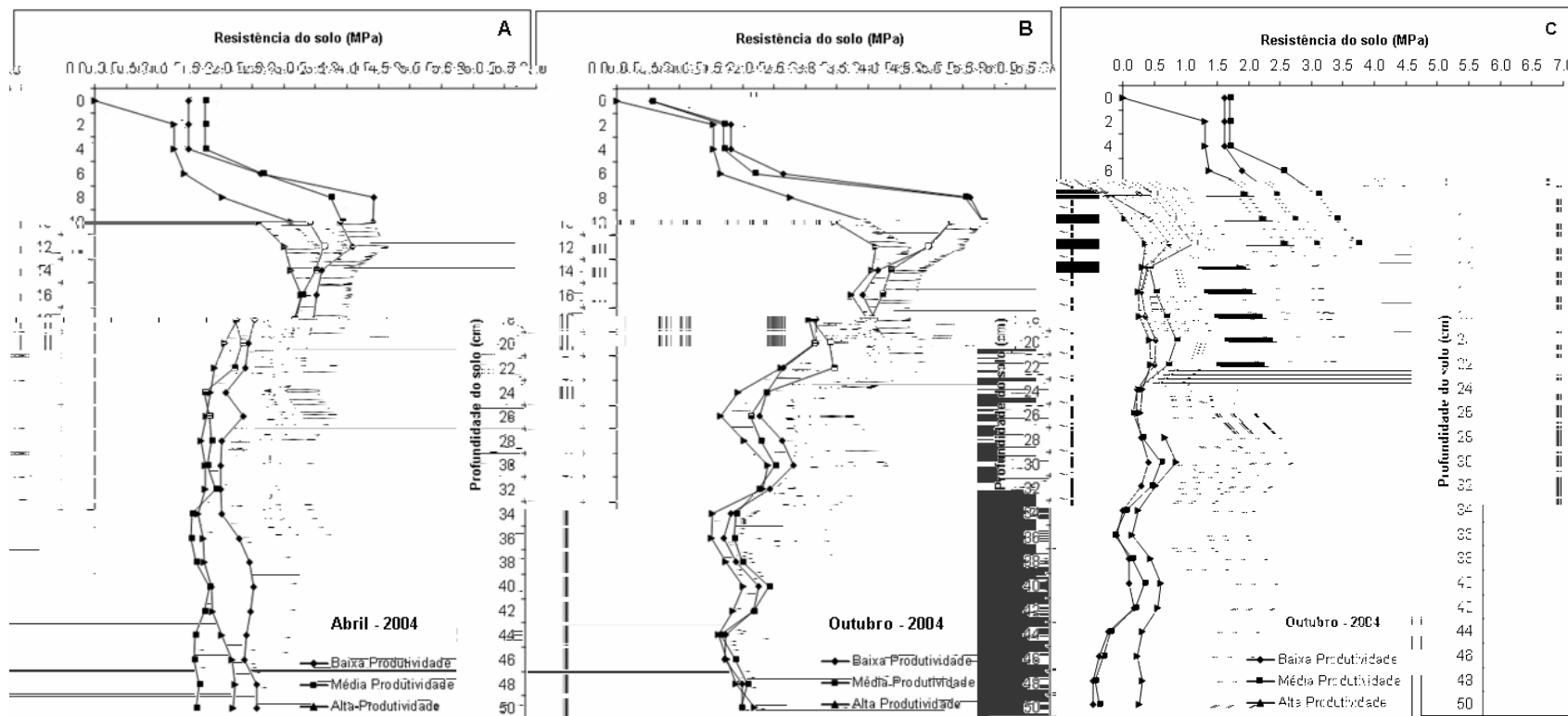


Figura 4.12 – Variação da resistência do solo com a profundidade, em três zonas potenciais produtivas em Palmeira das Missões (A e B) e Não-Me-Toque (C).

4.4 CONCLUSÕES

A qualidade física do solo está influenciando o rendimento das culturas.

Os agregados da classe maior que 4,76 mm, o DMG, a densidade do solo e microporosidade foram os atributos que melhor expressaram as diferenças entre a zona de alta e baixa produtividade.

As estratégias de adubação orgânica e culturas de cobertura no inverno, como o consórcio aveia+ nabo + ervilhaca, foram eficientes em promover a recuperação da qualidade física do solo na zona de baixo potencial produtivo. Por outro lado, está mantendo a qualidade física na zona de médio e alto potencial de rendimento.

Os resultados encontrados nesse trabalho, embora restritos a duas áreas, indicam que para o sistema plantio direto os valores de resistência a penetração são superiores ao tido como restritivo ao crescimento radicular (2,0 MPa).

4.5 AGRADECIMENTOS

A Fundação Agrisus – Agricultura Sustentável e sua conveniada a Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ) que financiam esse projeto. A Eng^a. Agr^a. Msc. Lisandra Pinto Della Flora, Eng^o. Agr^o. Gustavo Luiz Bellé, Eng^o. Agr^o. Ricardo Batista Cerezer Dellamea e os graduandos em agronomia da UFSM: Luciano Zucuni Pés, Luciano Pizzuti, Ricardo Bergamo Schenato e Ricardo Fuber pela colaboração na obtenção dos dados.

4.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SILVA, P.R.F.; RAMPAZZO, C.; GRACIETTI, L.C.; STRIEDER, M.L.; FORSTHOFER, E.L. & SUHRE, E. Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção. **Scientia Agraria**, v.4, n.1-2, p.27-34, 2003.

ALVARENGA, R.C.; FERNANDES, B.; SILVA, T.C.A.; RESENDE, M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palhada do milho. **R. Bras. Ci. Solo**, v.10, p.273-277, 1986.

BASSO, C.J. & REINERT, D.J. Variação da agregação induzida por plantas de cobertura de solo no inverno e plantio direto de milho em um solo Podzólico. **Ciência Rural**, v.28, n.4, p.567-571, 1998.

CAMARGO, O.A. & ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Esalq, 132 p. 1997.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo vermelho-escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.19, p.121-126, 1995.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; CASSOL, L.C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.23, p.383-391, 1999.

CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.14, p.99-105, 1990.

CARVALHO, J.R.P.; DECHEN, S.C.F. & DUFRANC, G. Variabilidade espacial da agregação do solo avaliada pela geometria fractal e geoestatística. **R. Bras. Ci. Solo**, v.28, p.1-9, 2004.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **R. Bras. Ci. Solo**, v.22, p.527-538, 1998.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos cerrados no sul do Estado de Goiás. **R. Bras. Ci. Solo**, v.26, p.1047-1057, 2002.

DA ROS, C.O.; LOPES, C. E. L.; SECCO, D.; PASA, L. Influência do tempo de cultivo no sistema plantio direto nas características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro. **Revista Ciência Rural**, v.26,n.3, p.397-400, 1996.

DA ROS, C.O.; SECCO, D.; FIORIN, J.E. *et alii*. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **R. Bras. Ci. Solo**, v.21, p.241-247, 1997.

DIAS JUNIOR, M.S. & ESTANISLAU, W.T. Grau de compactação e retenção de água de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.23, p.45-51, 1999.

DIAS JUNIOR, M.S. Compactação do Solo. In: **Tópicos em Ciência do Solo**, vol. I, p. 55-94, Viçosa/MG, 2000.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ)**. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA – CNPS, 1997. 212p.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ)**. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – Brasília: EMBRAPA Produção de Informações; RJ: EMBRAPA Solos, 1999. XXVI, 412p.

EVANS, L.T. & FISCHER, R.A. Yield potential: its definition, measurement, and significance. **Crop Science**, Madison, v.39, p. 1544-1551, 1999.

GIOTTO, L; ROBAINA, A. D. & SULZBACH, L. **A Agricultura de Precisão com o Sistema CR Campeiro**5, Manual do Usuário, 330p. 2004.

HARRIS, R. F.; CHESTER, G.; ALLEN, O.N. Dynamics of soil aggregation. **Adv. Agron.**, New York, v.18, p.107 – 169, 1966.

HENKLAIN, J.C.; GUIMARÃES, M.F.; VIEIRA, M.J. & MEDINA, C.C. Efeito do preparo do solo no desenvolvimento radicular. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTIO DIRETO PARA UMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL**, 1., Ponta Grossa, Resumos expandidos. Ponta Grossa, Instituto Agrônômico do Paraná, p.103-105. 1996.

KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D. & WHITE, J.L., eds. **Methods of soil analysis**. Pat 1. Madison, American Society of Agronomy, p.499-509. 1965.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Adv. Soil sci.**, 1:277-294, 1985.

LIMA, C.L.R.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; SILVA, J.B. Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.27, p.199-205, 2003.

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, p.539-579. 1986.

PERIN, A.; GUERRA, J.G.M.; TEIXEIRA, M.G.; PEREIRA, M.G.; FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um argissolo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.26, p.713-720, 2002.

PALADINI, F.L.S. & MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico vermelho-escuro afetado por sistema de culturas. **R. Bras. Ci. Solo**, v.15, p.135-140, 1991.

REICHERT, J.M.; VEIGA, M. da & CABEDA, M.S.V. Índices de estabilidade de agregados e suas relações com características de solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.17, p.283-290, 1993.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**. Jul/Dez. 2003, p.26-48.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & SILVA, V.R. Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; ROSA, G.M.; CERETTA, C.A., **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria, p. 114-133, 2001.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **R. Bras. Ci. Solo**, v.28, p.937-944, 2004.

SILVA, I.F. da & MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **R. Bras. Ci. Solo**, v.21, p.313-319, 1997.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Revista Ciência Rural**, v.30,n.5, p.795-801, 2000.

STOLF, R.; FERNANDES, J. & FURLANI NETO, V.L. **Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar – Stolf**. São Paulo, MIC/IAA/PNMCA – Planalsucar, 8p.1993. (série Penetrômetro de Impacto – Boletim, 1).

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.15, p.229-235, 1991.

STONE, L.F. & SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.25, p.395-401, 2001.

TISDALL, J.M.; COCKROFT, B. & UREN, N.C. The stability of soil aggregates as affected by organic materials microbial activity and physical disruption. **Aust. J. Soil Res.**, Victoria, 16:9-17, 1978.

TORRES, E. & SARAIVA, O.F. Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja. Londrina: **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 1999. 58p. (Circular Técnica, 23).

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001, 184 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

VEZZANI, F.M.; AMADO, T.J.C.; SULZBACH, L.; CONCEIÇÃO, P.C.; GRAPEGGIA, Jr.,G. Relações da qualidade do solo com a produtividade das culturas. In: **REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, XIV**. Cuiabá, 2002, Anais...UFMT, Cuiabá, 2002.

YAMAMOTO, J. K. **Guia do Usuário. Sistema Geovisual 2.2**. 82 p. 2002.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **J. Am. Soc. Agr...**, 28: 337-351, 1936.

CAPÍTULO 5: RELAÇÕES ENTRE INDICADORES DA FERTILIDADE E DA QUALIDADE FÍSICA DO SOLO E O POTENCIAL PRODUTIVO DE CULTURAS DE GRÃOS, EM UMA ÁREA MANEJADA COM AGRICULTURA DE PRECISÃO.

5.1 INTRODUÇÃO

O conhecimento da variabilidade das propriedades do solo e das culturas, no espaço e no tempo, é considerado, atualmente, o princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas, qualquer que seja a sua escala (Grego & Vieira, 2005). Neste sentido, várias estratégias de avaliação da qualidade do solo têm sido propostas, destacando-se as que consideram a necessidade de um conjunto numeroso de atributos químicos, físicos e biológicos (Larson & Pierce, 1991) ou de um número reduzido de atributos-chaves, como a matéria orgânica do solo (MOS), que pode expressar essa qualidade (Conceição et al., 2005).

Quando se preconiza o conhecimento da variabilidade, faz-se necessário uma maior quantidade de informações coletadas a campo, pois a simples medição e apresentação de uma propriedade do solo, como resposta de uma prática de manejo, nem sempre é eficiente, devendo o solo ser entendido como um sistema dinâmico, cuja funcionalidade emerge de interações entre componentes físicos, químicos e biológicos (Reichert et al., 2003). Isso, por sua vez, pode elevar o ônus financeiro para o agricultor e dificultar a tomada de decisões pelo técnico. Alternativamente, através dos mapas de rendimento, pode-se fazer uma amostragem inteligente, procurando distinguir zonas de potencial de rendimento ou utilizar propriedades agrícolas que dispõem de histórico de registros de rendimento espacializado, e procurar relacionar com indicadores físico-químicos do solo e, depois, por análise estatística, procurar identificar quais estão contribuindo em maior proporção para a variabilidade do rendimento.

Do ponto de vista prático, para aplicação do conceito de manejo por zonas uniformes, a questão importante aqui é procurar identificar quais os principais fatores causadores dessa variabilidade possíveis de serem manejados pelo agricultor. Com base nas informações disponíveis e discutidas nos capítulos anteriores, pode-se dizer que há variação nas propriedades físicas e químicas do solo. Diversos procedimentos estatísticos (correlação simples, análise fatorial, análise dos componentes principais e análise dos fatores, análise

multivariada), podem ser utilizados para entender essas relações (Dobermann, 1994; Coelho, 2000).

O método da análise dos componentes principais permite uma redução significativa no número de variáveis, fundamentalmente quando se tem um significado adequado para a componente retida, a qual pode ser tratada como a nova variável explicativa. Seus principais objetivos são: a) reduzir o número de variáveis; b) analisar quais as variáveis ou quais conjuntos de variáveis explicam a maior parte da variabilidade total, revelando que tipo de relacionamento existe entre eles (Bouroche & Saporta, 1982). Essa ferramenta pode auxiliar na discriminação de unidades de solo (Carvalho et al., 1990) e na

baixa produtividade), totalizando 15 pontos de coleta ou determinação na área conforme Figura 5.1. Os dados de produtividade, em cada ponto do mapa (Figura 5.1) foram obtidos segundo metodologias descritas no Capítulo 1.

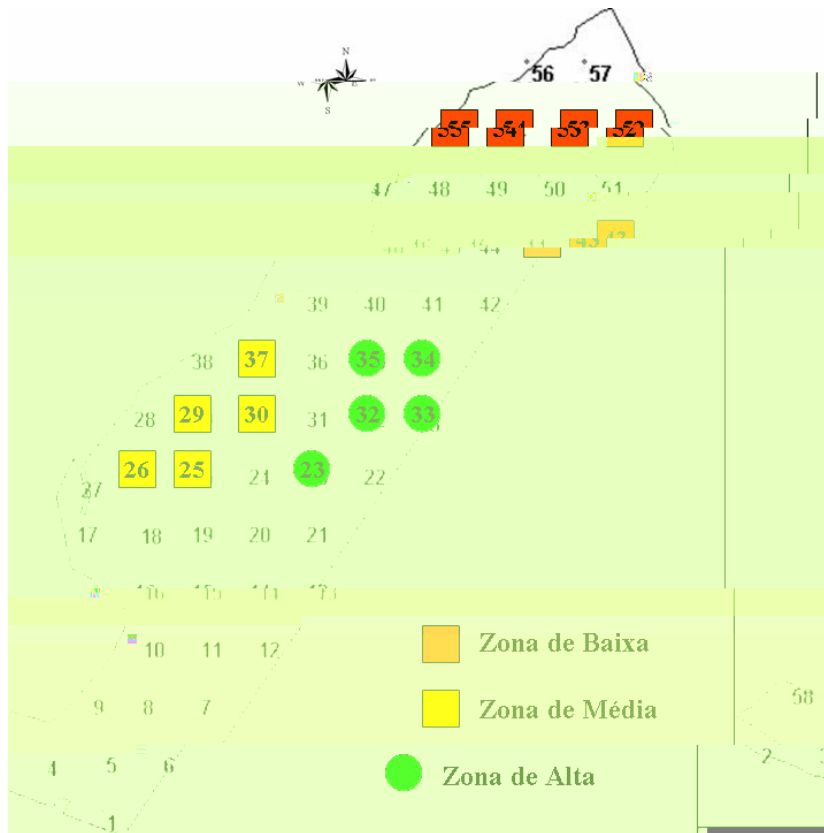


Figura 5.1 – Vista do contorno da área estudada e detalhe dos locais de avaliação em cada uma das zonas de manejo. Palmeira das Missões/RS.

As avaliações químicas e físicas foram realizadas durante o mês de abril de 2004 e coletadas nas camadas de 0 – 0,05; 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m. Os atributos do solo analisados foram: o teor de argila (método da pipeta), pH em água (potenciometria), fósforo e potássio disponíveis (Mehlich-1) determinados por colorimetria e fotometria de chama, respectivamente, e cálcio, magnésio e alumínio, extraídos com solução de KCl 1,0 mol L⁻¹. O Ca²⁺, e o Mg²⁺ foram determinados por meio de espectrofotometria de absorção atômica e o Al³⁺ por meio de titulação com NaOH 0,0125 N. Foi calculada a CTC_{efetiva} conforme procedimentos descritos por Tedesco et al. (1995) e determinado o teor de matéria orgânica no solo por combustão úmida utilizando o método de Nelson & Sommers (1996).

Para a determinação da infiltração de água no solo utilizou-se dois métodos de avaliação: o tradicional de duplos anéis concêntricos, descrito por Bouwer (1986), modificado por Siqueira & Denardin (1985), e readaptado por LanzaNova (2005) e Nicoloso (2005),

denominado por esses últimos autores como “Infiltrômetro Jari Grande”, e o método de gotejamento “Cornell Sprinkle Infiltrometer”, descrito por Van Es & Schindelbeck (2003).

A estabilidade dos agregados em água foi determinada na camada de 0 – 0,05 m pelo método modificado de Kemper & Chepil, (1965), descrito por Tisdall et al. (1978), através de tamizamento via úmida, utilizando-se amostras de agregados que passaram por peneiras de 8,00 mm e ficaram retidos nas peneiras de 4,76 mm. Foi determinado o diâmetro médio geométrico (DMG) e a porcentagem de agregados estáveis em cada classe (8,00 - 4,76; 4,76 - 2,00; 2,00 – 1,00; 1,00 – 0,21 e menor que 0,21 mm).

As determinações da porosidade e densidade do solo seguiram as mesmas profundidades das análises químicas, de acordo com Blake & Hartge (1986), utilizando-se anéis volumétricos de 3,0 cm de altura e 5,5 cm de diâmetro saturados por 48 horas em bandeja com água até dois terços da altura do anel e, após o período de saturação, drenadas no potencial equivalente a $-0,006$ Mpa utilizando uma mesa de tensão adaptada de Kiehl (1979).

A resistência do solo à penetração foi determinada até a profundidade de 0,50 m, utilizando-se um penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR STOLF, com cinco repetições por ponto (25 repetições por unidade potencial produtiva), segundo o método proposto por Stolf et. al. (1993). Os valores obtidos em kgf cm^{-2} foram transformados em MPa, conforme Stolf (1991).

A análise multivariada dos componentes principais foi determinada pela sobreposição vetorial de modelos digitais utilizando matrizes de variância e covariância auxiliadas pelo programa CR-Campeiro 5 (Giotto et al., 2004) e CR-Campeiro 6. As demais análises foram realizadas no programa Microsoft Office Excel® 2003.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 5.1 encontra-se a produtividade de grãos em seis safras, em cada uma das zonas de manejo estudadas. Os mapas de colheita, juntamente com as filtragens realizadas e a distribuição nas classes utilizadas (Capítulo 1), foram eficientes em discriminar as zonas de alta produtividade já no primeiro evento de colheita, no entanto, somente em anos de boa disponibilidade hídrica (2003) foi possível isolar, estatisticamente, zonas de média e baixa produtividade. Os anos com ocorrência de déficits hídricos pronunciados (2004 e 2005) não mostraram diferenças estatísticas, mesmo entre as zonas de alta e baixa produtividade. Isso

pode estar relacionado à presença de maior variabilidade na área, justificado pelos maiores valores do coeficiente de variação nas zonas. Este resultado concorda com Blackmore & Moore (1999) e Molin (2000), que sugerem a necessidade o acúmulo de vários mapas de rendimento para que se possa discriminar as zonas de rendimento, pois existe rendimentos inconsistentes (variabilidade temporal).

Com base nos resultados obtidos, constata-se que, quando se objetiva a utilização de mapas de produtividade para a separação de zonas de rendimento (alta, média e baixa produtividade) para fins de manejo, mais que o acúmulo de três a quatro eventos de colheita (mapa da produção acumulada), também devem ser incluídos anos sem estresse climático (com boa disponibilidade hídrica). Isso pode ser melhor compreendido observando a distribuição das chuvas na área (Figura 5.2). Observa-se que, no mês de fevereiro de 2004, o volume precipitado representou apenas 16% (46 mm) da precipitação ocorrida no mesmo período em 2003 (284 mm). Em 2005, esse índice foi ainda menor, representando 2,5% (7 mm) do total precipitado em fevereiro de 2003. Neste caso, estes déficits hídricos se refletiram na distribuição espacial do rendimento das subáreas.

Partindo do pressuposto que o potencial produtivo reflete a qualidade do solo agrícola, e que essa qualidade está baseada na excelência dos atributos químicos, físicos e biológicos, esses resultados fazem pensar que onde se consegue um maior armazenamento de água no solo se obtém também maiores rendimentos, e que os mapas de produtividade podem ser utilizados como metodologia simples e direta para a definição de zonas de manejo e/ou subsídio para adoção de práticas de manejo.

Tabela 5.1 – Produtividade de grãos em cada uma das seis safras e produção acumulada de grãos nas três zonas de manejo estudadas, Palmeira das Missões/RS.

PONTOS	CULTURAS/SAFRAS (kg ha ⁻¹)						PRODUÇÃO ACUMULADA (kg)
	SOJA 2000/01	MILHO 2001/02	SOJA 2002/03	TRIGO 2003	SOJA 2003/04	MILHO 2004/05	
ZONA DE ALTA PRODUTIVIDADE							
23	3.398	9.545	4.102	4.144	1.886	6.742	29.815
32	3.525	8.907	4.291	3.937	3.117	6.714	30.491
33	3.426	7.642	3.674	4.065	2.772	4.454	26.031
34	3.464	8.711	4.138	4.012	2.562	6.249	29.135
35	3.280	8.816	3.781	3.931	1.624	6.038	27.469
MÉDIA	3.418a*	8.724a	3.997a	4.018a	2.392 ns	6.039 ns	28.588a
CV (%)	2,66	7,87	6,48	2,23	25,98	15,50	6,35
ZONA DE MÉDIA PRODUTIVIDADE							
25	2.950	7.144	3.402	3.184	1.750	5.093	23.523
26	3.101	7.477	3.377	3.178	2.550	5.533	25.216
29	2.836	7.153	3.433	3.000	2.456	4.930	23.808
30	2.881	7.028	3.555	3.496	3.056	5.469	25.486
37	2.650	7.298	3.036	2.788	2.905	4.832	23.509
MÉDIA	2.884b	7.220b	3.361b	3.129b	2.543 ns	5.171 ns	24.308b
CV (%)	5,72	2,39	5,77	8,35	19,95	6,10	3,96
ZONA DE BAIXA PRODUTIVIDADE							
43	2.915	5.838	3.009	2.938	2.418	4.598	21.717
52	3.068	6.366	3.089	3.005	1.679	5.405	22.612
53	2.843	5.233	2.871	2.648	2.278	4.328	20.200
54	2.585	4.087	2.457	2.476	1.848	4.378	17.832
55	2.896	8.064	1.928	2.240	1.724	6.116	22.969
MÉDIA	2.861b	5.918b	2.671c	2.662c	1.989 ns	4.965 ns	21.066c
CV (%)	6,14	24,83	18,01	11,98	16,92	15,61	9,97

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste T a 5% de probabilidade de erro.

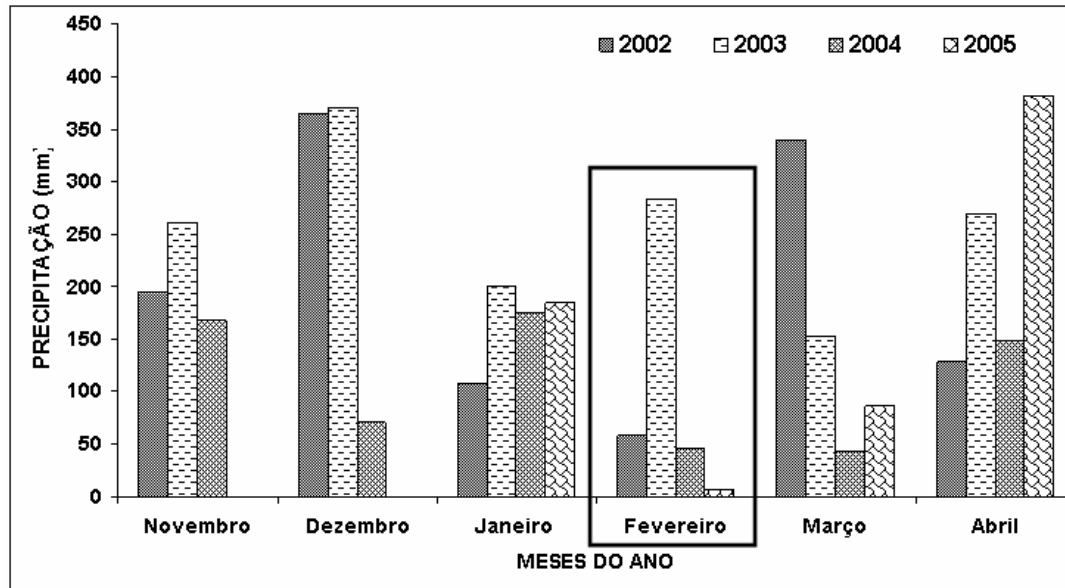


Figura 5.2 – Distribuição da chuva no período entre a semeadura e a colheita das culturas de verão na área de estudo – Palmeira das Missões/RS.

A análise de componentes principais das variáveis químicas do solo (Tabela 5.2) demonstra que as 32 variáveis originais foram agrupadas em cinco fatores, e o ajuste do modelo foi capaz de explicar 99,24% das variâncias das variáveis com autovalores maiores que 1.

O primeiro componente explica 53,83 % da variabilidade química do solo da área experimental. Esse componente é constituído pelos teores de P na camada de 0,05 – 0,10; P 0,10 – 0,20 e K nas camadas de 0 – 0,05; 0,05 – 0,10; 0,10 – 0,20 e 0 – 0,10 m com escores positivos e altamente significativos. A proporção acumulada entre o primeiro e o segundo componente explicou 91,14 % da variabilidade, sendo o teor de potássio na camada de 0 – 0,05 m a variável com maior correlação (0,836). É provável que os altos teores de K nessa camada (336 mg dm^{-3}) estejam promovendo alterações na absorção de Ca e Mg, ou mesmo a lixiviação desses dois cátions no solo, justificando a inclusão dos atributos indicadores de acidez e definição da realização de calagem como o terceiro componente e capaz de explicar 96,49 da variabilidade. A interpretação desse terceiro componente é mais difícil, necessitando de informações adicionais, porém pode-se teorizar que a calagem em superfície, realizada no ano de 2000 na dose de $3,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário dolomítico, ainda não reagiu na sua totalidade, ou a dose utilizada foi insuficiente ou está havendo um desbalanço de cátions na área, gerada pelos históricos de aplicações de fórmulas com elevadas concentrações de K e a elevada ciclagem de K, que concentra este nutriente em uma camada delgada de solo.

Tabela 5.2 – Análise de componentes principais das variáveis químicas do solo (coleta 2004), em Palmeira das Missões, RS.

Componentes da variância	Componentes principais				
	1	2	3	4	5
Autovalores	5.721,1	3.965,0	568,3	177,6	114,59
Proporção (%)	53,83	37,31	5,35	1,67	1,08
Proporção acumulada (%)	53,83	91,14	96,49	98,16	99,24
Variáveis	Correlação com os componentes principais				
pH H ₂ O (0 – 0,10 m)	-0,050	-0,082	0,759	-0,538	-0,083
pH H ₂ O (0 – 0,05 m)	0,105	-0,002	0,717	-0,533	-0,077
pH H ₂ O (0,05 – 0,10 m)	-0,186	-0,168	0,770	-0,451	-0,046
pH H ₂ O (0,10 – 0,20 m)	-0,086	0,074	0,772	-0,157	0,481
Fósforo (0 – 0,10 m)	0,409	-0,037	0,040	0,705	0,049
Fósforo (0 – 0,05 m)	-0,295	0,045	0,453	0,253	0,249
Fósforo (0,05 – 0,10 m)	0,560	-0,069	-0,162	0,633	-0,079
Fósforo (0,10 – 0,20 m)	0,518	0,000	-0,146	0,697	-0,054
Potássio (0 – 0,10 m)	0,969	0,219	-0,101	-0,043	0,019
Potássio (0 – 0,05 m)	0,548	0,836	0,006	-0,005	-0,003
Potássio (0,05 – 0,10 m)	0,793	-0,587	-0,150	-0,056	0,030
Potássio (0,10 – 0,20 m)	0,818	-0,399	0,387	0,123	-0,068
Matéria Orgânica (0 – 0,10 m)	0,106	0,197	-0,177	0,427	0,154
Matéria Orgânica (0 – 0,05 m)	0,168	0,169	-0,088	0,403	0,149
Matéria Orgânica (0,05 – 0,10 m)	-0,031	0,240	-0,348	0,446	0,161
Matéria Orgânica (0,10 – 0,20 m)	-0,048	-0,092	-0,330	0,263	0,253
Cálcio (0 – 0,10 m)	0,382	0,045	0,685	-0,241	-0,159
Cálcio (0 – 0,05 m)	0,375	0,017	0,611	-0,265	-0,334
Cálcio (0,05 – 0,10 m)	0,359	0,077	0,724	-0,189	0,084
Cálcio (0,10 – 0,20 m)	-0,118	0,300	0,215	0,387	0,654
Magnésio (0 – 0,10 m)	0,025	-0,088	0,868	-0,220	-0,056
Magnésio (0 – 0,05 m)	0,023	0,009	0,740	-0,136	-0,316
Magnésio (0,05 – 0,10 m)	0,016	-0,160	0,832	-0,251	0,199
Magnésio (0,10 – 0,20 m)	-0,315	0,308	0,687	-0,350	0,488
CTC – Efetiva (0 – 0,10 m)	0,326	0,004	0,757	-0,241	-0,138
CTC – Efetiva (0 – 0,05 m)	0,323	0,024	0,677	-0,210	-0,310
CTC – Efetiva (0,05 – 0,10 m)	0,325	-0,073	0,776	-0,237	0,146
CTC – Efetiva (0,10 – 0,20 m)	-0,206	0,318	0,361	0,216	0,666
Saturação por Bases (0 – 0,10 m)	-0,036	-0,054	0,786	-0,581	-0,108
Saturação por Bases (0 – 0,05 m)	0,074	0,006	0,724	-0,571	-0,218
Saturação por Bases (0,05 – 0,10 m)	-0,093	-0,110	0,796	-0,528	0,044
Saturação por Bases (0,10 – 0,20 m)	0,038	0,074	0,598	0,104	0,788

(*) Números em negrito indicam as variáveis com maior carga fatorial (escores) selecionadas dentro de cada fator. (**) Critério para classificação: valor absoluto < 0,30 é considerado significativo; 0,30 – 0,40, mediamente significativo; e > 0,50, altamente significativo. Fonte: Coelho (2003).

Dentre os indicadores físicos (Tabela 5.3), a macroporosidade na camada de 0,05 – 0,10 m, a infiltração de água no solo pelos métodos do “Infiltrômetro Jari Grande” e o método de “Cornell Sprinkle Infiltrometer”, a densidade do solo na camada de 0,10 – 0,20 m, os agregados na classe > 4,76 mm e a resistência do solo à penetração nas camadas de 0,25 – 0,30, 0,30 – 0,35, 0,35 – 0,40, 0,40 – 0,45 e 0,45 – 0,50 m explicaram 88,71 % da primeira componente principal.

Tabela 5.3 – Análise de componentes principais das variáveis físicas do solo (coleta 2004), em Palmeira das Missões, RS.

Componentes da variância	Componentes principais				
	1	2	3	4	5
Autovalores	18.251,7	2.645,7	150,6	51,3	46,69
Proporção (%)	88,71	9,94	0,73	0,25	0,23
Proporção acumulada (%)	88,71	98,65	99,38	99,63	99,86
Variáveis	Correlação com os componentes principais				
Argila (0 – 0,05 m)	-0,300	-0,062	0,511	0,750	0,284
Argila (0,05 – 0,10 m)	-0,410	-0,046	0,844	-0,112	-0,263
Argila (0,10 – 0,20 m)	0,360	-0,053	0,788	-0,080	-0,194
Microporosidade (0 – 0,05 m)	-0,387	-0,183	0,072	0,228	-0,468
Microporosidade (0,05 – 0,10 m)	-0,030	-0,518	0,241	-0,061	-0,526
Microporosidade (0,10 – 0,20 m)	0,057	-0,389	0,494	0,108	-0,328
Macroporosidade (0 – 0,05 m)	-0,014	0,146	-0,047	0,271	0,041
Macroporosidade (0,05 – 0,10 m)	-0,830	-0,082	0,119	0,554	0,215
Macroporosidade (0,10 – 0,20 m)	-0,442	0,350	-0,076	0,234	0,244
Porosidade total (0 – 0,05 m)	-0,299	-0,006	-0,046	0,494	-0,322
Porosidade total (0,05 – 0,10 m)	-0,145	-0,481	0,287	0,432	-0,231
Porosidade total (0,10 – 0,20 m)	-0,451	0,049	0,400	0,361	0,015
Densidade (0 – 0,05 m)	0,006	-0,062	0,549	-0,101	0,328
Densidade (0,05 – 0,10 m)	0,230	-0,185	0,193	-0,067	0,286
Densidade (0,10 – 0,20 m)	0,538	-0,454	0,418	0,100	-0,124
AG > 4,76 (0 – 0,05 m)	0,521	0,156	-0,691	0,161	-0,213
AG 4,76 – 2,0 (0 – 0,05 m)	-0,036	-0,406	0,208	0,438	-0,430
AG 2,0 – 1,0 (0 – 0,05 m)	0,143	-0,038	0,256	-0,127	-0,409
AG 1,0 – 0,21 (0 – 0,05 m)	-0,310	-0,354	0,319	0,429	-0,423
AG < 0,21 (0 – 0,05 m)	-0,493	0,111	0,410	-0,378	0,656
Infiltração Cornell	0,920	0,392	0,004	0,001	0,000
Infiltração “Jarí Grande”	0,967	-0,254	0,002	-0,001	0,002
RP 0,05 – 0,10 m	-0,336	-0,359	-0,044	-0,110	-0,331
RP 0,10 – 0,15 m	0,463	-0,457	0,321	-0,530	-0,215
RP 0,15 – 0,20 m	0,388	-0,610	0,195	0,108	-0,243
RP 0,20 – 0,25 m	-0,410	-0,507	-0,232	0,059	-0,259
RP 0,25 – 0,30 m	-0,708	-0,286	-0,237	-0,131	-0,152
RP 0,30 – 0,35 m	-0,623	-0,352	-0,309	-0,188	-0,148
RP 0,35 – 0,40 m	-0,562	-0,265	-0,408	-0,189	-0,224
RP 0,40 – 0,45 m	-0,623	-0,221	-0,367	-0,123	-0,248
RP 0,45 – 0,50 m	-0,653	-0,226	-0,364	-0,096	-0,224

(*) Números em negrito indicam as variáveis com maior carga fatorial (scores) selecionadas dentro de cada fator. (**) Critério para classificação: valor absoluto < 0,30 é considerado significativo; 0,30 – 0,40, mediamente significativo; e > 0,50, altamente significativo. Fonte: Coelho (2003).

A infiltração de água, independente do método, foi a variável que melhor se ajustou, sendo positiva e altamente significativa. Essas variáveis já haviam sido eficientes em discriminar as zonas de rendimento (Capítulo 4) e agora confirmam sua participação na explicação da variabilidade.

Juntas, as componentes principais 1 e 2 explicaram 98,65 % da variabilidade acrescentando 9,94 % na proporção acumulada. A microporosidade na camada 0,05 – 0,10 m e a resistência do solo à penetração na camada de 0,15 – 0,20 e 0,20 – 0,25 m atingiram valores superiores a 0,500 (-0,518; -0,610 e -0,507, respectivamente). Essas propriedades tiveram

escores negativos e altamente significativos, confirmando os resultados e as hipóteses dos capítulos anteriores, que as baixas produtividades das culturas foram devidas à baixa qualidade física do solo, como o aumento da microporosidade e a presença de uma camada mais adensada entre 0,15 – 0,25 m.

O teor de argila no solo nas camadas de 0,05 – 0,10 m e de 0,10 – 0,20 m e a proporção de agregados maiores que 4,76 mm foram as variáveis que melhor explicaram a componente principal 3 na ordem de 0,844, 0,788 e -0,691, respectivamente. Embora a proporção de agregados menores que 0,21 mm não tenha sido considerada na discussão da componente 1, ela apresentou um escore de -0,493 sendo medianamente significativa. Pode-se inferir que o nível organizacional do sistema solo nessa área é variável e que acumulativamente, as componentes 1, 2 e 3 explicaram 99,38 % da variabilidade existente.

Na Tabela 5.4, está a análise das variáveis que tiveram um escore $\geq 0,500$ (positiva ou negativa), com as componentes principais 1 e 2 apresentadas nas Tabelas 2 e 3. A infiltração de água no solo pelos métodos do “Infiltrômetro Jari Grande” e o método de “Cornell Sprinkle Infiltrometer” apresentaram os maiores escores (0,938 e 0,937, respectivamente), confirmando a hipótese inicial desse trabalho que a disponibilidade de água estaria sendo o principal limitante a expressão do potencial produtivo das culturas nessa área. A resistência do solo à penetração, abaixo da camada de 0,25 m, apresentou valores negativos, indicando impedimento físico ao crescimento radicular a partir dessa camada. Essas variáveis em conjunto com a densidade do solo (0,10 – 0,20 m), com a proporção de agregados maiores que 4,76 mm e com os teores de potássio no solo na camada 0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m, explicaram 64,19 % da variação na área.

Tabela 5.4 – Análise de componentes principais das variáveis químicas e físicas do solo (coleta 2004), em Palmeira das Missões, RS.

Componentes da variância	Componentes principais				
	1	2	3	4	5
Autovalores	20.083,2	5.504,8	4.113,3	770,0	388,2
Proporção (%)	64,19	17,59	13,15	2,46	1,24
Proporção acumulada (%)	64,19	81,78	94,93	97,39	98,63
Variáveis	Correlação com os componentes principais				
Fósforo (0,05 – 0,10 m)	0,337	0,233	0,385	-0,015	0,091
Fósforo (0,10 – 0,20 m)	0,415	0,230	0,258	0,020	0,096
Potássio (0 – 0,10 m)	0,519	0,677	0,488	-0,175	-0,059
Potássio (0 – 0,05 m)	0,288	0,915	-0,181	-0,211	0,048
Potássio (0,05 – 0,10 m)	0,430	-0,019	0,891	-0,023	-0,136
Potássio (0,10 – 0,20 m)	0,559	0,112	0,711	0,168	0,353
Macroporosidade (0,05 – 0,10 m)	-0,140	-0,255	-0,185	0,118	-0,422
Densidade (0,10 – 0,20 m)	0,515	-0,458	0,135	-0,155	0,000
AG > 4,76 (0 – 0,05 m)	0,536	0,060	0,100	0,065	-0,356
AG < 0,21 (0 – 0,05 m)	-0,487	0,259	-0,203	-0,154	0,111
Infiltração Cornell	0,937	0,241	-0,147	0,199	-0,046
Infiltração “Jarí Grande”	0,938	-0,315	-0,078	-0,120	0,018
RP 0,25 – 0,30 m	-0,724	-0,120	0,061	-0,325	-0,339
RP 0,30 – 0,35 m	-0,652	-0,181	-0,011	-0,379	-0,350
RP 0,35 – 0,40 m	-0,573	-0,157	0,124	-0,233	-0,465
RP 0,40 – 0,45 m	-0,635	-0,180	0,146	-0,088	-0,448
RP 0,45 – 0,50 m	-0,660	-0,130	0,152	-0,175	-0,354

(*) Números em negrito indicam as variáveis com maior carga fatorial (escores) selecionadas dentro de cada fator. (**) Critério para classificação: valor absoluto < 0,30 é considerado significativo; 0,30 – 0,40, mediamente significativo; e 0,50, altamente significativo. Fonte: Coelho (2003).

Embora a infiltração de água esteja entre as variáveis com maior escore, quando se acumulou a segunda e a terceira componente é que foi possível explicar 94,93 % da variabilidade. Como o teor de K no solo foi a variável que explicou as proporções na componente 2 e 3 e, independente da profundidade analisada, os valores estão acima do nível tido como crítico para a classe de solo da área estudada (Comissão...,2004), ou seja, acima de 60 mg kg⁻¹, supõem-se que esteja havendo desbalanço nutricional na área. Neste caso, juntamente com a adoção de práticas de manejo que conduzam a uma maior infiltração de água no solo, também deve ser pensado o equilíbrio nutricional.

Na Figura 5.3 encontra-se a correlação entre a infiltração de água no solo, o rendimento relativo das culturas (seis mapas sobrepostos).

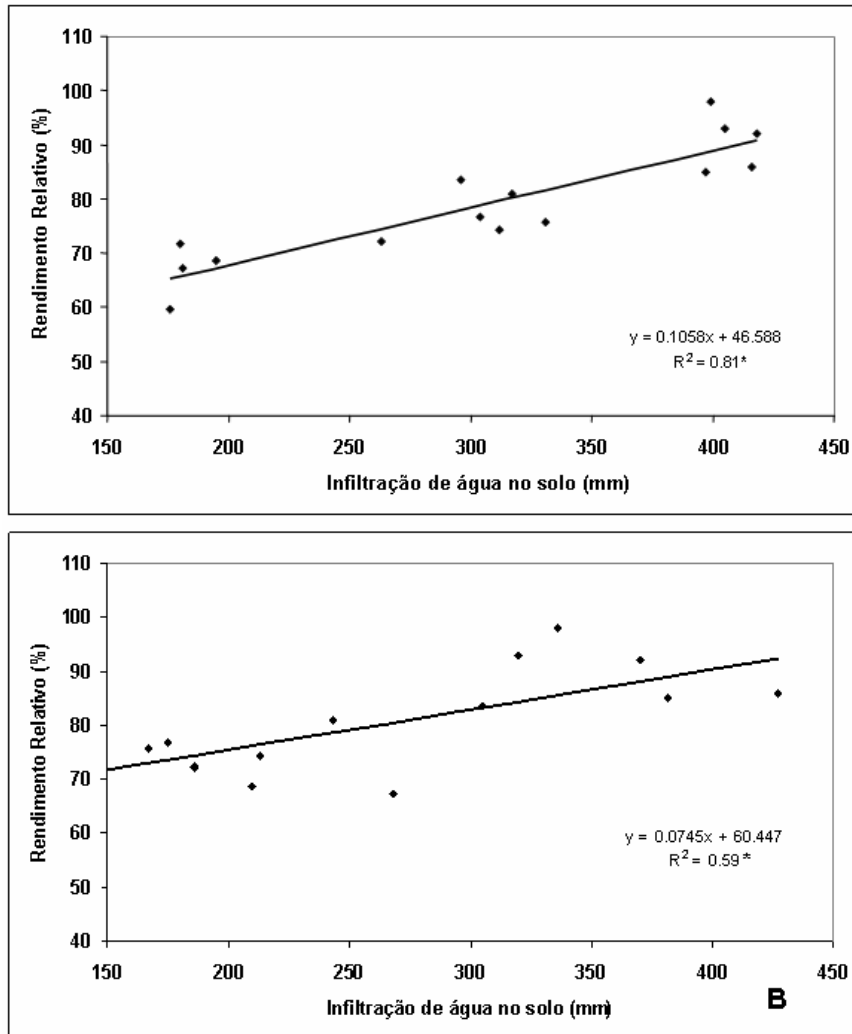


Figura 5.3 – Correlação entre a infiltração de água no solo, determinada pelo método “Jarí Grande” (A) e do “Cornell Sprinkle Infiltrometer” (B) e o rendimento relativo das culturas (seis mapas sobrepostos) – Palmeira das Missões/RS.

O método “Jarí Grande” apresentou um coeficiente de determinação de 0,81. Mesmo com um coeficiente de determinação mais baixo (0,59), o método do “Cornell Sprinkle Infiltrometer” pode ser uma ferramenta auxiliar importante, quando da realização desse tipo de avaliação em condições de lavoura, pelas razões já discutidas no Capítulo 3 (menor consumo de água, por exemplo). Sugere-se a realização de novas avaliações, em condições de lavoura e plantio direto, utilizando esse método.

Conforme os resultados desse trabalho, uma questão a ser considerada é a disponibilidade hídrica durante o período das avaliações da taxa de infiltração. Quando

realizada a correlação da infiltração de água no solo com o rendimento relativo das culturas, considerando ano de adequada e baixa disponibilidade hídrica para a cultura da soja (Figura 5.4), no ano em que a precipitação pluviométrica teve distribuição regular (Figura 5.4A e 5.4B), houve ajuste de 0,75 e 0,45, respectivamente para o método “Jarí Grande” e do “Cornell Sprinkle Infiltrometer”. Quando ocorreu limitação na disponibilidade hídrica, não se visualizou coerência entre a produtividade e os valores de infiltração. Na cultura do milho (Figura 5.5), a tendência foi similar à observada na cultura da soja, com um R^2 de 0,68 e R^2 de 0,51, respectivamente, para o método do “Jarí Grande” e do “Cornell Sprinkle Infiltrometer”. Para o ano de déficit hídrico, os pontos mostraram uma tendência de separação entre as zonas, porém os ajustes foram baixos (R^2 de 0,31 e 0,25).

O rendimento de grãos de soja já foi relacionado com o consumo relativo de água para diversas localidades do RS. Berlato (1987) concluiu que o consumo relativo de água explicou 89, 86 e 85 % da variação do rendimento de grãos de soja dos grupos de maturação precoce, médio e tardio, respectivamente, durante o período crítico da cultura (do início da floração até o início do enchimento de grãos – R_1 - R_5). Para a cultura do milho, Matzenauer et al. (2003) também determinaram que o consumo relativo de água, para vários locais e anos, teve alta associação com o rendimento. Os autores concluíram que o consumo relativo de água é a variável mais eficiente para indicar as variações de rendimento de grãos de milho entre as épocas de semeadura, anos e locais no Estado do RS.

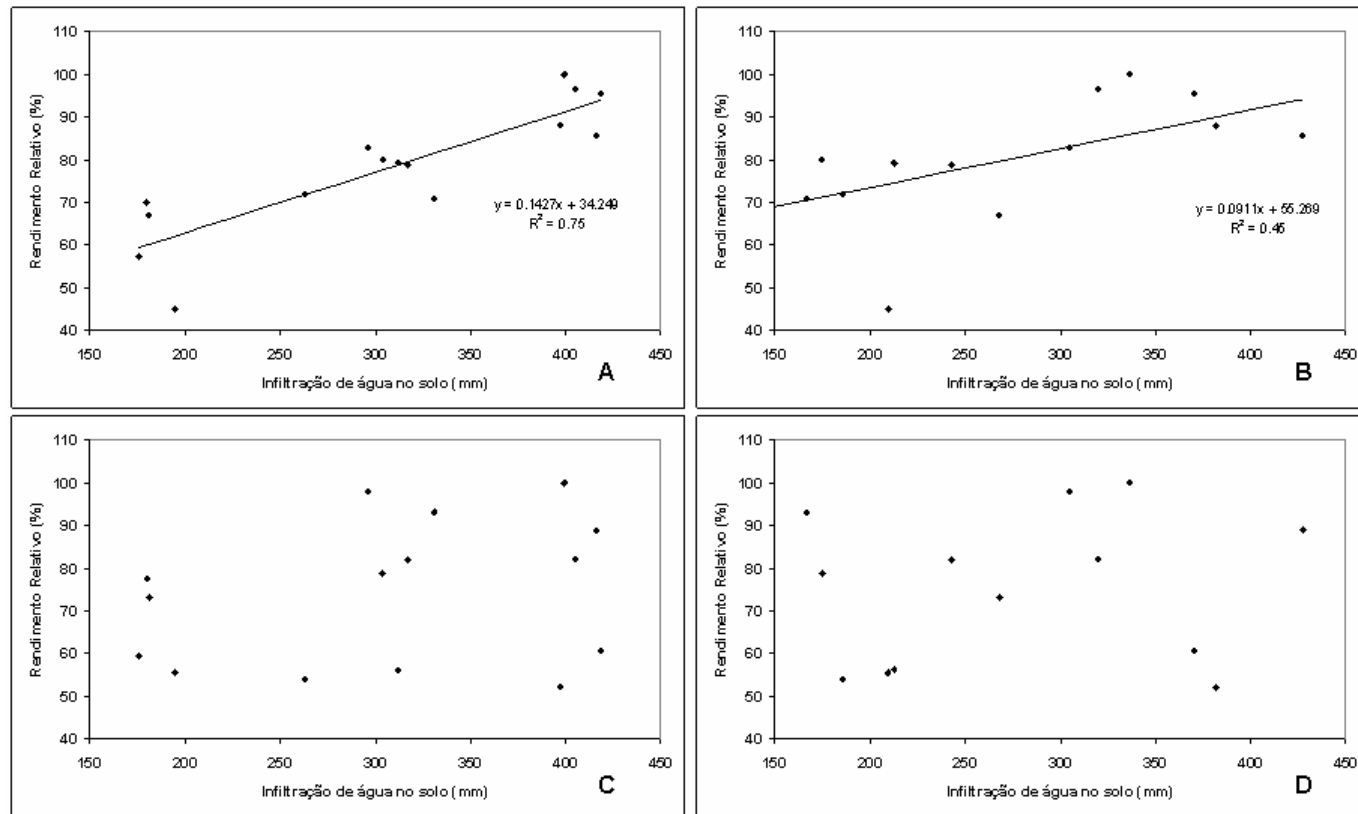


Figura 5.4 - Relação entre a infiltração de água no solo e o rendimento relativo da cultura da soja em um ano de adequada disponibilidade hídrica, safra 2002/03 (acima) e de baixa disponibilidade hídrica, safra 2003/04 (abaixo), determinada pelo método “Jarí Grande” (A e C) e pelo método “Cornell Sprinkle Infiltrometer” (B e D) – Palmeira das Missões/RS.

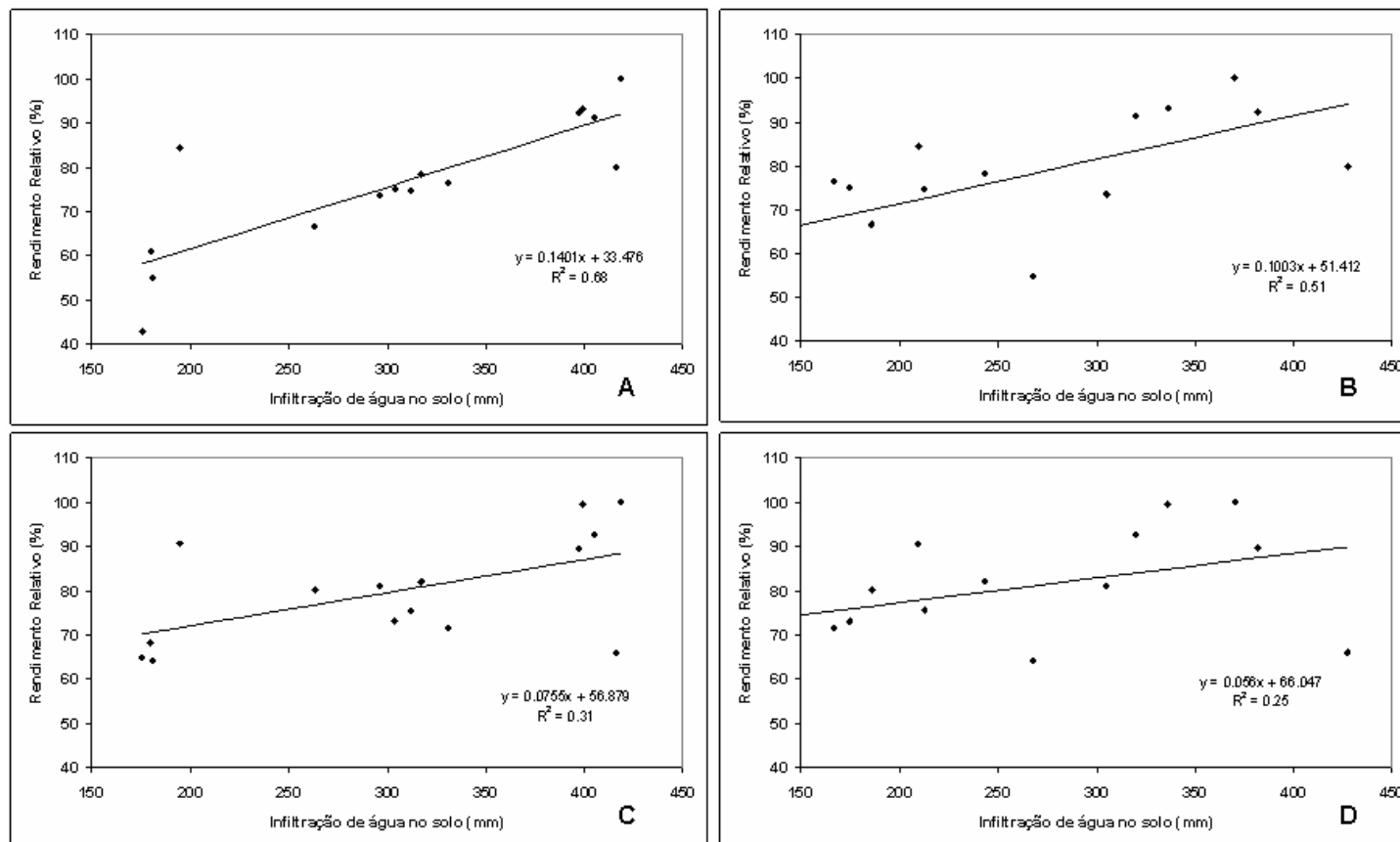


Figura 5.5 – Relação entre a infiltração de água no solo e o rendimento relativo da cultura do milho em um ano de boa disponibilidade hídrica, safra 2001/02 (acima) e de baixa disponibilidade hídrica, safra 2004/05 (abaixo) determinada pelo método “Jarí Grande” (A e C) e pelo método “Cornell Sprinkle Infiltrometer” (B e D) – Palmeira das Missões/RS.

Tanto para a cultura da soja como para a do milho, rendimentos relativos acima de 90 % só foram alcançados quando a infiltração de água foi superior a 400 mm (Figura 5.6). Embora alguns autores afirmem que essa variável apresenta alta variabilidade (Vieira et al., 1981), nesse trabalho tem se observado que as propriedades hidrodinâmicas do solo não são distribuídas espacialmente de modo totalmente desordenado, mas apresentam certa estrutura. O sistema proposto da Figura 5.6 infere o conceito de zonas de alta, média e baixa infiltração de água no solo, com relações diretas no rendimento relativo das culturas, com coeficientes de correlação de 0,75 e 0,68 para as culturas da soja e do milho, respectivamente.

Embora não se adequa corretamente uma infiltração relativa a uma precipitação, principalmente se a intensidade desta variar ao longo do tempo (Lima & Silans, 1999), a determinação das relações entre a taxa de infiltração de água no solo ou de seu armazenamento no solo com o rendimento relativo das culturas permite, em condições de lavoura, definir e/ou elencar prioridades entre as práticas de manejo a serem adotadas para o estabelecimento de porosidade contínua (bioporos), equilíbrio entre a macro e a microporosidade, aumento da estabilidade de agregados e, conseqüentemente, um maior volume de água disponível. Segundo dados de Matzenauer et al. (2003), pode-se deduzir que em nove anos a cada vinte deve ocorrer redução de rendimento de grãos de soja, com intensidade variável, dependendo do local, do ano e da época de semeadura. Esses autores estimaram que em apenas 11 % das situações analisadas (dados de dez municípios), a deficiência hídrica foi igual ou menor que 10 % durante o período crítico, sem risco para a produção da cultura da soja.

Uma alternativa a esse problema é elevar o armazenamento da água no solo. Fiorin, et al. (1997) encontraram uma relação direta entre o armazenamento de água no horizonte A e a produção de grãos na cultura do milho. Além disso, esses autores encontraram, sob condições de horizonte A raso, quando comparada com condições de horizonte A profundo, uma variação de produtividade de 29 a 14,3 %, respectivamente (1.890 a 869 kg ha⁻¹). Isso pode explicar parte da variabilidade na produtividade das áreas com histórico de erosão no RS.

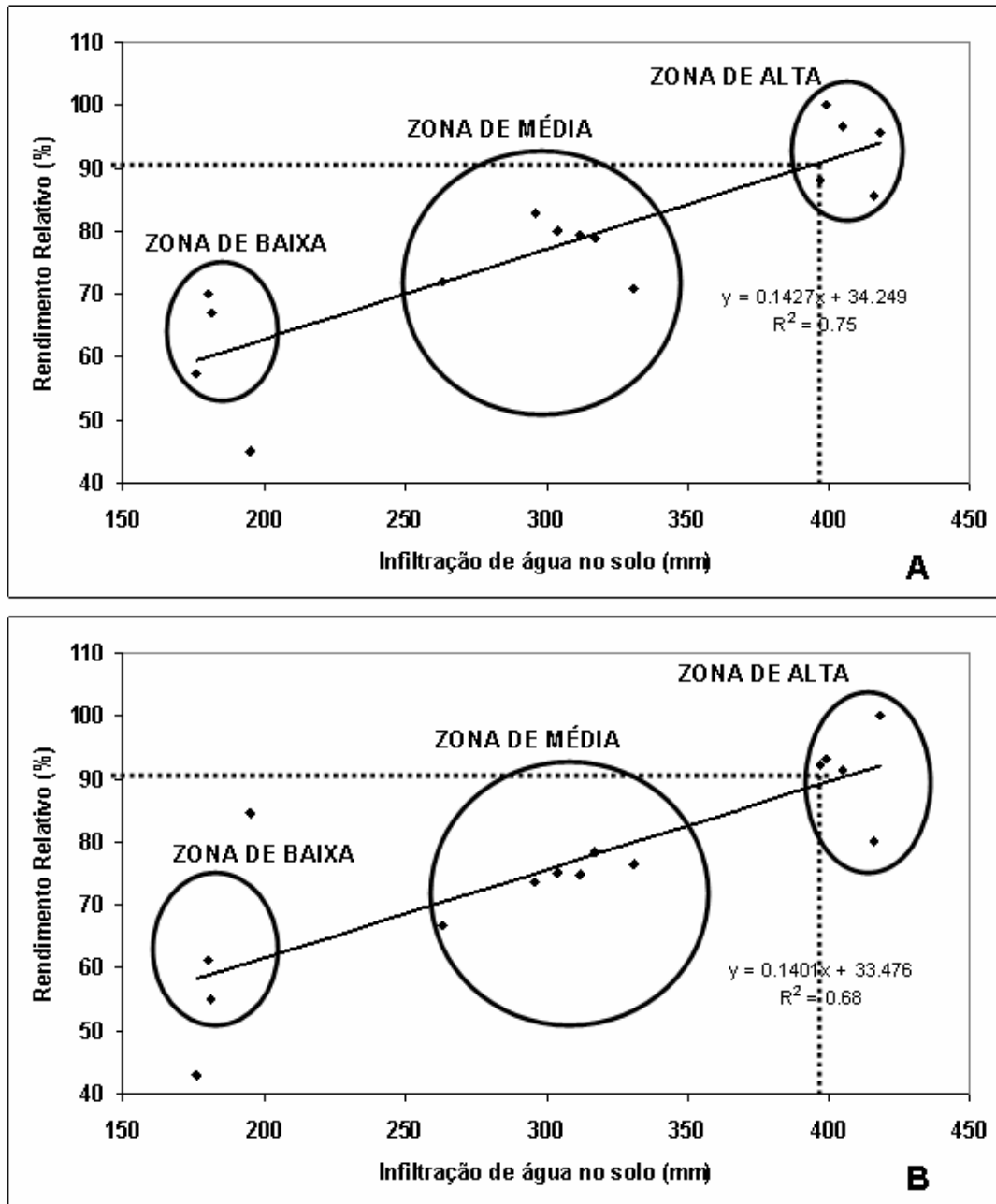


Figura 5.6 – Sistema de organização teórico proposto para a ordenação da taxa de infiltração de água no solo, determinada pelo método “Jarí Grande”, para a cultura da soja (A) e a cultura do milho (B) em um ano de boa disponibilidade hídrica, em cada zona de manejo – Palmeira das Missões/RS.

Embora os valores de 200 e 400 mm não possam ser generalizados e usados como um índice para definir zonas de baixa e alta produtividade, podem ser um indicativo importante para novos estudos e o início para entender as razões da variabilidade. Coelho (2003) evidenciou que, embora os atributos químicos estivessem sendo responsáveis por parte da variabilidade na área de seu estudo, a aplicação adicional de fertilizantes contendo esses nutrientes não foi suficiente para elevar a produtividade da cultura do milho.

Na Figura 5.7, confirmam-se as evidências de Burnett et al. (1985) que, embora as deficiências nutricionais possam ser corrigidas pela aplicação de fertilizantes químicos, em geral, essa não é suficiente para restaurar seu potencial produtivo. Onde houve menor eficiência do uso da água, também se confirmou menor eficiência do uso dos fertilizantes e, conseqüentemente, menor produtividade.

As relações (Figura 5.8) confirmam que a eficiência do uso da água explica 0,60 da eficiência do uso de fertilizantes na área. Quando relacionada com o rendimento relativo, a eficiência do uso da água teve um coeficiente de determinação de 0,99, e a eficiência do uso de fertilizantes, de 0,61. Nos casos em que ocorre restrição ao crescimento radicular, reduz-se ainda mais o volume de solo explorado pelas raízes, diminuindo-se a absorção de nutrientes e, conseqüentemente, diminuindo-se a produtividade. Segundo Albuquerque & Reinert, (2001), para cada centímetro a menos de espessura de horizonte A explorado pelas raízes, houve redução de 35 kg ha⁻¹ na produtividade do milho.

Segundo Secco et al. (2004), métodos mecânicos isolados como a escarificação, podem não propiciar incrementos no rendimento de grãos da cultura da soja. Nessas condições, a aplicação de adubos orgânicos (esterco e resíduos de culturas), ou escarificação (intervenção mecânica), associada à intervenção biológica, é a principal alternativa encontrada para a reestruturação da produtividade, conforme resultados discutidos no Capítulo 4, favorecendo-se assim, a formação de agregados com diâmetros maiores, a macroporosidade, a diminuição dos valores de densidade, a reativação da vida no solo, a continuidade de bioporos e, por conseqüência, a maior infiltração e retenção de água no solo.

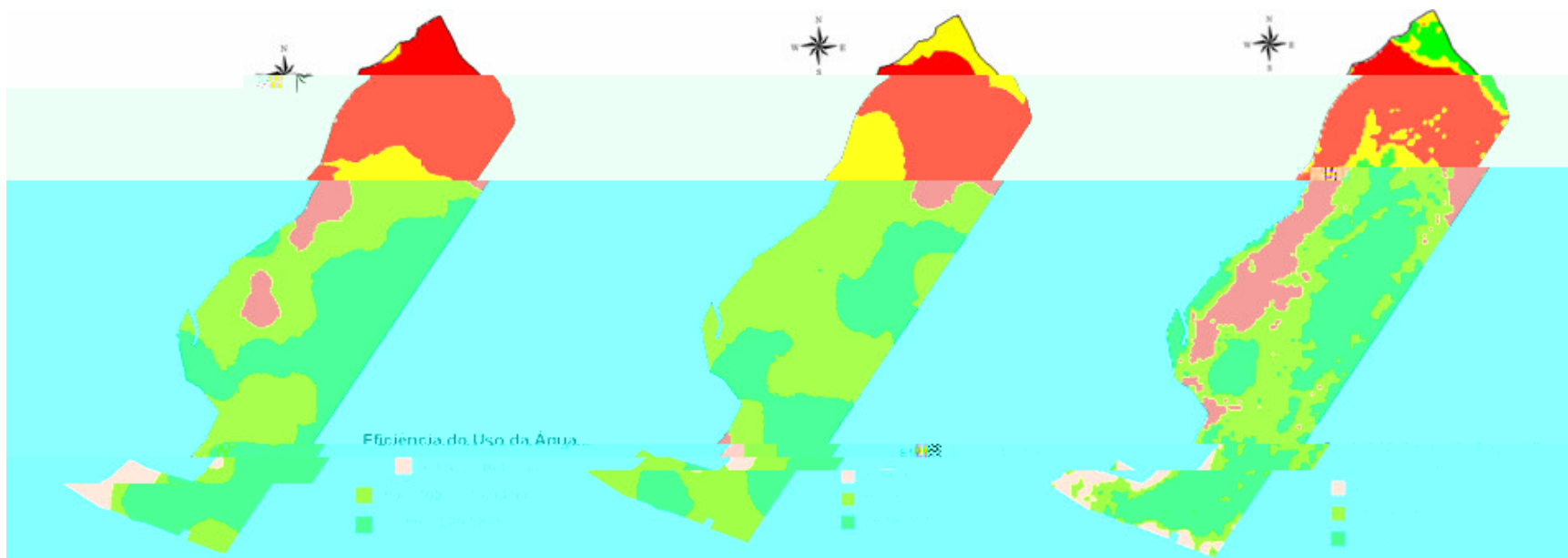


Figura 5.7 – Eficiência do uso da água, da adubação e produtividade (seis safras) na área experimental – Palmeira das Missões/RS.

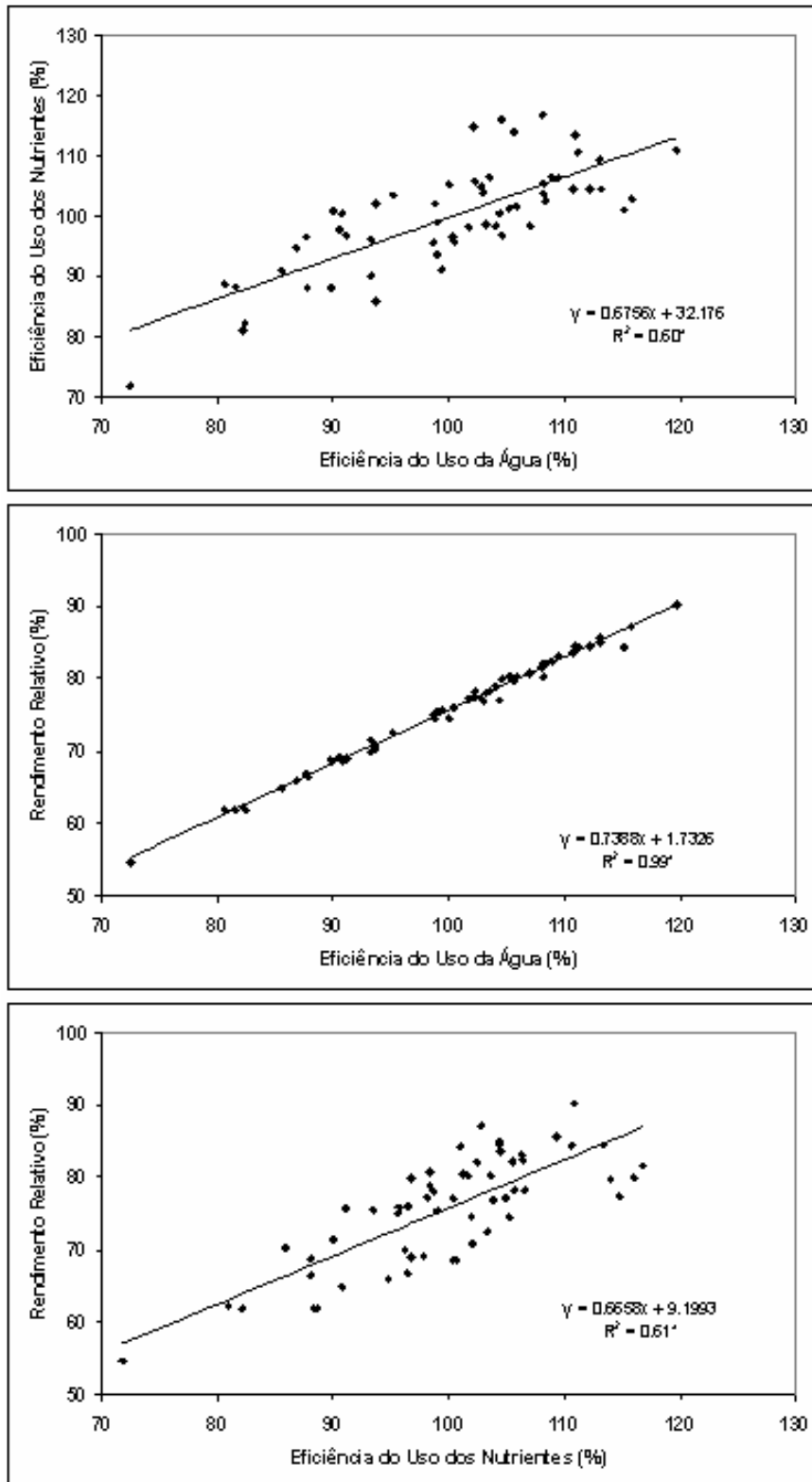


Figura 5.8 – Relações entre a eficiência do uso da água, eficiência do uso dos fertilizantes e rendimento relativo das culturas (seis safras), Palmeira das Missões/RS.

5.4 CONCLUSÕES

Em anos com ocorrência de déficits hídricos pronunciados, não foi possível separar as zonas de alta das de baixa produtividade.

A infiltração de água no solo foi a variável que melhor explicou a variabilidade na área.

Dentre os atributos químicos, o que melhor explicou a variabilidade foram os teores de potássio no solo.

Os locais de maior rendimento relativo apresentaram também a maior eficiência do uso dos fertilizantes e do uso da água.

A amostragem de atributos químicos e físicos do solo baseado em zonas de manejo, definidas a partir do histórico dos mapas de produtividade, permitiu explicar a maior parte da variabilidade total na área e suas relações com o rendimento relativo das culturas.

5.5 AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Fernando Penteado Cardoso, presidente da Fundação AGRISUS, pelo desafio, a que nos confiou e financiou, no sentido de explicar a variabilidade em condições de lavoura, elegendo a disponibilidade de água às culturas como hipótese inicial. Ao professor Telmo Jorge Carneiro Amado, meu orientador, pelas contribuições. Ao professor Enio Giotto pelo desenvolvimento e aprendizado das ferramentas do programa CR-Campeiro6. A todos que de uma maneira ou de outra ajudaram na obtenção dos dados de campo e laboratório. A família Sulzbach pela cessão da área para que pudesse ser feito este trabalho de pesquisa. A Luciano Sulzbach pelo registro dos mapas de rendimento.

5.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J.A. & REINERT, D.J. Densidade radicular do milho considerando os atributos de um solo com horizonte B textural. **R. Bras. Ci. Solo**, v.25, p.539-549, 2001.

BERLATO, M.A. **Modelo de relação entre o rendimento de grãos de soja e o déficit hídrico para o Estado do Rio Grande do Sul**. 1987. 93f. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-graduação em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1987.

BLACKMORE, S.; MOORE, M. Remedial correction of yield map data. **Precision Agriculture**, v1, n1, p.51-66, 1999.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed) **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Medison: ASA, cap. 13, p.363-375. 1986.

BOUROCHE, J. M. & SAPORTA, G. **Análise de dados**. Rio de Janeiro: Zahar Ed, 1982.

BOUWER, H. Intake rate: Cylinder infiltrometer. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis I, physical and mineralogical methods**. 2ed., Madison, ASA/SSSA, p.825-844. 1986.

BURNETT, E.; STEWART, B.A. & BLACK, A.L. Regional effect of erosion on corn productivity – Great Plains. In: FOLLET, R.F. & STEWART, B.A., eds. **Soil erosion and crop productivity**. American Society of Agronomy, p.335-356. 1985.

CARVALHO, W. A. et. al. Aplicação de análise multivariada na discriminação de unidades de solo, mediante parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas, em Botucatu, SP. **R. Bras. Ci. Solo**. v.14. p.195-203, 1990.

COELHO, A.M. **Irrigated corn yield as related to spatial variability of selected soil properties in a silty clay loam and sandy soils**. 2000, 175p. Tese (Doutorado). Lincoln, University of Nebraska, 2000.

COELHO, A.M., Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: **Tópicos em Ciência do Solo**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa. v.3, p.249, 2003.

CONCEIÇÃO, P.C., AMADO, T. J. C., MIELNICZUK, J., SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **R. Bras. Ci. Solo**, v.29, p.777-788, 2005.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3.ed. Passo Fundo. **SBCS- Núcleo Regional Sul/ UFRGS**, 400p. 2004.

DOBERMANN, A. Factors causing field variation of direct-seeded flooded rice. **Geoderma**, 62:125-150, 1994.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro,RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. – Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412 p.1999.

FIORIN, J.E.; REINERT, D.J. & ALBUQUERQUE, J.A. Armazenamento de água no solo e produtividade da cultura do milho em um solo Podzólico Vermelho-amarelo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.21, p.249-255, 1997.

GIOTTO, L; ROBAINA, A. D. & SULZBACH, L. **A Agricultura de Precisão com o Sistema CR Campeiro5**, Manual do Usuário, 330p. 2004.

GREGO, C.R. & VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **R. Bras. Ci. Solo**, v.29, p.169-177, 2005.

GOMES, J.B.V.et. al. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**. v. 28, p 137 -153, 2004.

KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D. & WHITE, J.L., eds. **Methods of soil analysis**. Pat 1. Madison, American Society of Agronomy, p.499-509. 1965.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia–relações solo-planta**. SP: Ed. Agr. Ceres, 262p. 1979.

LANZANOVA, M.E. **Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária**. Santa Maria, 2005. 132f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

LARSON, W.E. & PIERCE, F.J. Conservation and enhancement of soil quality. In: **INTERNATIONAL BOARD FOR SOIL RESEARCH AND MANAGEMENT**, 12., Bangkok, V.2. 1991.

LIMA, C.A.G. & SILANS, A.P., Variabilidade espacial da infiltração e água no solo. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.34, n.12, p.2311-2320, dez. 1999.

MATZENAUER, R. et al. Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.3, p.85-92, 1995.

MATZENAUER, R.; BARNI, N.A. & MALUF, J.R.T. Estimativa do consumo relativo de água para a cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.33, n.6, p.1013-1019, nov-dez, 2003.

MOLIN, J.P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão, In: BORÉN, A.; GIÚDINE, M.P. del; QUEIROZ, D.M. de; MANTOVANI, E.C.; FERREIRA, L.R.; VALLE, F.X.R. do.; GOMIDE, R.L. **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 237-258. 2000.

NANNI, M. R. Análise discriminante dos solos por meio de uma resposta espectral no nível terrestre. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v. 39 n°. 10, out., 2004.

NICOLOSO, R.S. **Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo em áreas de Integração Lavoura-Pecuária sob Sistema Plantio Direto**. Santa Maria, 2005. 149f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

NELSON, D.W. & . SOMMERS, L.E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: **Methods of Soil Analysis**, Part 2, 2 nd ed., A.L. Page et al., Ed. Agronomy. 9:961-1010. Am. Soc. of Agron., Inc. Madison, WI, 1996.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**. p.26-48. Jul/Dez. 2003.

SECCO, D.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & DA ROS, C.O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **R. Bras. Ci. Solo**, v.28, p.797-804, 2004.

STOLF,R.; FERNANDES, J. & FURLANI NETO, V.L. **Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar – Stolf**. São Paulo, MIC/IAA/PNMCA – Planalsucar, 8p.1993. (série Penetrômetro de Impacto – Boletim, 1).

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v.15, p.229-235, 1991.

SIQUEIRA, O.J.F. & DENARDIN, J.E. Equipamento para medir a taxa de infiltração de água no solo utilizando anéis concêntricos em um sistema com nível de água constante. **R. Bras. Ci. Solo**, v.9, p.73-75, 1985.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. (Boletim Técnico, 5). 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 147p.1995.

TISDALL, J.M.; COCKROFT, B. & UREN, N.C. The stability of soil aggregates as affected by organic materials microbial activity and physical disruption. **Aust. J. Soil Res.**, Victoria, 16:9-17, 1978.

Van ES. H. & SCHINDELBECK, R. **Field procedures and data analysis for the cornell Sprinkle Infiltrometer**. Cornell University, Department of Crop and Soil Sciences. Extension publication R 03-01. 8 pages. 2003.

VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. Spatial variability of field. Measured Infiltration Rate. **Soil Science Society of America. Journal**, v.45, n.4, p.1040-1048, 1981.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)