

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR NORTE - RS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA:
AGRICULTURA E AMBIENTE**

**DEFINIÇÃO DE ESTABILIDADE PRODUTIVA E
RELAÇÃO COM ATRIBUTOS DE SOLO EM ÁREAS
MANEJADAS COM AGRICULTURA DE PRECISÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Mateus Tonini Eitelwein

Frederico Westphalen, RS, Brasil

2013

**DEFINIÇÃO DE ESTABILIDADE PRODUTIVA E RELAÇÃO
COM ATRIBUTOS DE SOLO EM ÁREAS MANEJADAS COM
AGRICULTURA DE PRECISÃO**

Mateus Tonini Eitelwein

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Luis Santi

Frederico Westphalen, RS, Brasil

2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo autor.

Eitelwein, Mateus Tonini

Definição de estabilidade produtiva e relação com atributos de solo em áreas manejadas com Agricultura de Precisão / Mateus Tonini Eitelwein. – 2013.
93 p.; 30 cm

Orientador: Antônio Luis Santi

Coorientador: Vanderlei Rodrigues da Silva

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, CESNORS – FW, Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, RS, 2013.

1. Agricultura de Precisão 2. Estabilidade Produtiva 3. Mapa de Produtividade 4 Química do Solo I. Santi, Antônio Luis II. Silva, Vanderlei Rodrigues da III. Título.

© 2013

Todos os direitos autorais reservados a Mateus Tonini Eitelwein. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Linha Sete de Setembro s/n – BR 386, km 40. CEP 98400-000 - Frederico Westphalen, RS, Brasil.

Fone (55) 3757-1078; Endereço eletrônico: mateus_eitelwein@outlook.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Educação Superior Norte - RS
Programa de Pós-Graduação em Agronomia:
Agricultura e Ambiente**

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

**DEFINIÇÃO DE ESTABILIDADE PRODUTIVA E RELAÇÃO COM
ATRIBUTOS DE SOLO EM ÁREAS MANEJADAS COM
AGRICULTURA DE PRECISÃO**

elaborado por
Mateus Tonini Eitelwein

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Antônio Luis Santi, Dr.
(Presidente/Orientador)

Telmo Jorge Carneiro Amado, Dr. (UFSM)

Clovis Orlando Da Ros, Dr. (UFSM)

Frederico Westphalen, 05 de julho de 2013.

*Aos meus pais, Mara e Paulo Eitelwein, e
minha irmã Graciele, que sempre me
apoiaram e acreditaram nos meus objetivos.*

DEDICO...

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente (PPGAAA) pela oportunidade de acesso a graduação e ao mestrado.

Ao orientador e amigo, Dr. Antônio Luis Santi, pela credibilidade e confiança em mim depositadas. Pela orientação e incentivo, e pelas oportunidades criadas durante o decorrer do mestrado.

Aos professores do curso de Agronomia da UFSM/CESNORS e do PPGAAA, pelas informações e conhecimentos trocados, pela amizade e principalmente pela audácia e coragem do projeto.

Aos professores Dr. Adriano Lago, Dr. Vanderlei R. da Silva e Dr. Joilmaro R. P. Rosa, pela convivência, lições, companheirismo e amizade.

Aos colegas da primeira turma de mestrado do PPGAAA, pelas trocas de conhecimento, amizade e companheirismo. Em especial, ao colega e amigo Maurício Roberto Cherubin pelo incentivo, auxílio, e companheirismo.

Aos membros e amigos do Laboratório de Pesquisa em Agricultura de Precisão (LAP Sul) pelos momentos de descontração e empenho na realização de trabalhos em grupo.

Aos Srs. Eliseu Schaedler e Carlos Eduardo da Silva Dauve, pelo fomento a pesquisa científica, apoio logístico e imprescindível colaboração na execução deste estudo.

Aos amigos Rafaelo Balbinot, Joana L. C. Cordeiro, Fabrício J. Sutili, Renan S. Dupont, Tiago Signori, Rafael Vendruscolo e Geomar M. Corassa, pela amizade, companheirismo, momentos de descontração, conselhos, e principalmente por fazerem parte da minha vida.

A todos aqueles não citados, que de alguma maneira cruzaram com o meu caminho e de alguma maneira contribuíram com a concretização desta etapa.

Em especial, a minha família, meus pais, Paulo e Mara Eitelwein pelo apoio incondicional, incentivo [...] enfim, pelos exemplos de vida que sempre nortearão meu caráter e minhas ações. A minha irmã Graciele e meu cunhado Cleber, pelo incentivo e confiança em minhas decisões.

A todos vocês, **MUITO OBRIGADO.**

*“A forma mais elevada de inteligência humana
é dirigir a atenção desprovida de julgamento.”*

(Jiddu Krishnamurti)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente
Universidade Federal de Santa Maria

DEFINIÇÃO DE ESTABILIDADE PRODUTIVA E RELAÇÃO COM ATRIBUTOS DE SOLO EM ÁREAS MANEJADAS COM AGRICULTURA DE PRECISÃO

AUTOR: MATEUS TONINI EITELWEIN
ORIENTADOR: ANTÔNIO LUIS SANTI
Frederico Westphalen, RS 05 de julho de 2013.

O mapeamento da produtividade de grãos constitui a principal ferramenta de análise dos resultados das técnicas de agricultura de precisão utilizadas. Neste sentido o objetivo do estudo foi descrever os equipamentos e esclarecer o estado atual da arte de mapeamento da produtividade (capítulo I), analisar a ocorrência de similaridade entre mapas ao longo do tempo utilizando diferentes culturas (capítulo II) e, por fim, determinar a influência que os atributos do solo exercem na produtividade das culturas (capítulo III). No capítulo I são descritos os equipamentos básicos que compõe um conjunto de monitoramento de colheita, dando ênfase para os sensores de produtividade presentes no mercado, na sequência são apresentadas as possibilidades de utilização dos mapas de produtividade para gerenciamento das áreas. Para análise da estabilidade produtiva (capítulo II), foram utilizadas quatro áreas com um histórico de monitoramento de quatro safras das culturas da soja, milho, trigo e aveia. As áreas foram divididas por uma malha quadricular (20 x 20 m), para cada quadricula se atribuiu o valor de produtividade médio dos pontos que se encontravam no seu interior. Os dados foram normalizados para possibilitar a análise temporal. A correlação entre atributos do solo e a produtividade (capítulo III) foi avaliada em uma área de 36 hectares utilizando a correlação de Spearman. As amostragens de solo foram realizadas manualmente com trado calador na profundidade de 0 - 0,1 m, através de uma malha regular (50 x 50 m). Os valores de produtividade destes pontos foram determinados através da média dos pontos utilizando diferentes raios amostrais em três culturas. Os resultados demonstraram a presença de estabilidade produtiva, sobretudo em áreas que apresentam grande oscilação na produtividade em um mesmo ano. A metodologia deve ser utilizada com cautela, principalmente em locais onde há uma tendência à homogeneidade na produtividade. O raio amostral utilizado para determinar o valor de produtividade de um ponto tem influências diretas sobre os valores das correlações. O aumento do raio amostral até o valor de 30 metros proporcionou aumentos graduais significativos nos valores das correlações. O fósforo foi o nutriente que apresentou maiores correlações positivas com a produtividade, mesmo estando acima dos teores críticos descritos para o estado.

Palavras-chaves: Mapa de produtividade. Sensor de produtividade. Mapas de colheita. Fertilidade do solo. Unidades de manejo.

ABSTRACT

Master Dissertation
Graduate Program in Agronomy: Agriculture and Environment
Federal University of Santa Maria

EFFICIENCY OF SAMPLING GRIDS USED IN THE CHARACTERIZATION OF CHEMICAL ATTRIBUTES IN OXISOLS MANAGED WITH PRECISION AGRICULTURE

AUTHOR: MATEUS TONINI EITELWEIN
ADVISOR: ANTÔNIO LUIS SANTI
Frederico Westphalen, RS, July 05th, 2013.

The mapping of grain yield is the main tool for analysis of the results of the techniques of precision agriculture used. In this sense, the aim of this study was to describe the equipment and clarify the current state of the art mapping yield (Chapter I), to analyze the occurrence of similarity between maps over time using different cultures (Chapter II), and finally, determine the influence that soil properties exert on crop yields (Chapter III). In Chapter I deal with the basic equipment that composes a set of monitoring harvest, giving emphasis on yield sensors on the market, the sequence shows the possibilities of using yield maps for management areas. For analysis of yield stability (Chapter II), there were four areas with a history of monitoring four crops of soybean, corn, wheat and oats. The areas were divided by a regular grid (20 x 20 m) for each raster is assigned the value of average yield of the points that were inside. Data were normalized to enable the temporal analysis. The correlation between soil properties and productivity (Chapter III) was evaluated in an area of 88 acres using the Spearman correlation. The soil samples were taken manually auger at a depth from 0 to 0.1 m, over a regular grid (50 x 50 m). The yield values of these points were determined by averaging the sample points using different radius in three cultures. The results demonstrated the presence of yield stability, especially in areas with large variation in yield in one year. The methodology should be used with caution, especially in places where there is a tendency to homogeneity in yield. The radius sample used to determine the value of yield point has a direct influence on the values of the correlations. Increasing the radius to the sample value of 30 meters provided significant gradual increase in the values of correlations. The phosphorus was the nutrient that showed high positive correlation with yield, despite being above the levels described for the critical state.

Keywords: Yield map. Yield sensor. Harvest maps. Soil fertility. Management units.

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

Tabela 1 – Principais marcas comerciais e respectivos princípios de mensuração do fluxo de grãos.....	24
Tabela 2 - Alguns sensores de produtividade presentes no mercado e seu respectivo erro médio.....	24

ARTIGO II

Tabela 1 - Eventos de colheita utilizados no estudo de acordo com cada área.	45
Tabela 2 - Estatística descritiva dos dados de produtividade antes e após a filtragem.	48
Tabela 3 - Estatística descritiva dos dados de produtividade utilizados no estudo.	49
Tabela 4 - Matriz de correlação de Spearman entre pontos de produtividade de quatro áreas.....	50

ARTIGO III

Tabela 1 - Estatística descritiva dos atributos químicos do solo e da produtividade de milho (2013) e soja (2011) de acordo com o raio amostral utilizado para determinar os pontos.	72
Tabela 2 - Coeficientes de correlação de Spearman entre atributos químicos do solo e produtividade de soja (2010 e 2011) e milho (2013), determinada através da média dos valores obtidos em diferentes raios amostrais a partir do ponto da coleta de solo.....	75

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

Figura 1 - Sistema de monitoramento de fluxo de massa de grãos por placa de impacto (A) e por garfos (B)..	21
Figura 2 - Sistema de monitoramento de fluxo de massa de grãos por raios gama.	22
Figura 3 - Sistema de monitoramento do fluxo de volume de grãos por roda de pás.	23
Figura 4. Sistema de monitoramento do fluxo de volume de grãos através de sensor infravermelho.	23
Figura 5 - Diferentes maneiras de apresentação da distribuição da produtividade em uma área de lavoura.	28
Figura 6 - Sequência temporal de mapas de produtividade gerando um mapa de estabilidade de zonas produtivas.	32

ARTIGO II

Figura 1 – Localização geográfica e das áreas utilizadas no estudo (1, 2, 3 e 4).	44
Figura 2 - Esquema de divisão das áreas para redução da densidade dos pontos de produtividade.	46
Figura 3 - Espacialização da produtividade de quatro safras na área 1.	52
Figura 4 - Espacialização da produtividade de quatro safras na área 2.	53
Figura 5 - Espacialização da produtividade de quatro safras na área 3.	55
Figura 6 - Espacialização da produtividade de quatro safras na área 4.	56
Figura 7 - Espacialização da produtividade média de quatro safras e do coeficiente de variação entre os dados nas áreas 1 e 2.	58
Figura 8 - Espacialização da produtividade média de quatro safras e do coeficiente de variação entre os dados nas áreas 3 e 4.	59

ARTIGO III

Figura 1 - Localização geográfica da área de estudo e dos pontos de amostragem de solo no município de Boa Vista das Missões - RS, Brasil.	68
---	----

Figura 2 - Esquema de divisão da área em grade regular de 50 x 50 m (130 pontos), ilustrando os raios de amostragem de solo (10 m) e produtividade (5, 10, 15, 20, 25 e 30m) em função da posição central de cada quadricula.	70
Figura 3 - Mapas de produtividade (raio 30 metros) e teores de P, argila e pH do solo.	76

LISTA DE APÊNDICES

ARTIGO II

Apêndice A – Precipitação registrada na área de estudo entre os anos de 2009 e 2013..... 64

ARTIGO III

Apêndice A – Histórico dos cultivos, práticas de adubação e correção realizadas na área de estudo..... 86

Apêndice B - Precipitação registrada na área de estudo entre os anos de 2009 e 2013..... 87

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 ARTIGO I	17
MAPAS DE PRODUTIVIDADE: DA COLETA À APLICABILIDADE DOS DADOS	17
2.1 Resumo	17
2.2 Abstract.....	17
2.3 Introdução.....	18
2.4 Monitoramento da produtividade	20
2.4.1 Sensores de produtividade	20
2.4.2 Georreferenciamento da informação - GPS.....	25
2.4.3 Sensores de velocidade, posição do cabeçote e umidade.	25
2.4.4 Erros nos dados de produtividade.....	26
2.4.5 Apresentação da informação	27
2.5 Interpretação e uso dos mapas de produtividade	28
2.5.1 Gerenciando as informações.....	28
2.5.2 Influência de fatores de solo na produtividade.....	29
2.5.3 Utilização de zonas de manejo	31
2.6 Considerações finais	33
2.7 Agradecimentos	34
2.8 Referências Bibliográficas.....	34
3 ARTIGO II.....	41
MAPEAMENTO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS: ANÁLISE DA ESTABILIDADE PRODUTIVA.....	41
3.1 Resumo	41
3.2 Abstract.....	41
3.3 Introdução.....	42
3.4 Material e Métodos.....	43
3.5 Resultados e Discussão.....	47
3.6 Conclusões.....	60
3.7 Agradecimentos	60
3.8 Referências Bibliográficas.....	60

3.9 Apêndice.....	64
4 ARTIGO III	65
CORRELAÇÃO ENTRE ATRIBUTOS DO SOLO E A PRODUTIVIDADE DE SOJA E MILHO OBTIDA COM DIFERENTES RAIOS AMOSTRAIS	65
4.1 Resumo	65
4.2 Abstract.....	65
4.3 Introdução.....	66
4.4 Material e Métodos.....	67
4.5 Resultados e Discussão.....	71
4.6 Conclusões.....	78
4.7 Agradecimentos.....	79
4.8 Referências Bibliográficas.....	79
4.9 Apêndice.....	86
5 DISCUSSÃO	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

1 INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão (AP) compreende um conjunto de técnicas e instrumentos que visam gerenciar com eficiência a utilização de insumos nas áreas produtivas, prezando pela racionalização das técnicas de cultivo e preservação do meio ambiente. Segundo ZHAO et al. (2010) a AP pode ser considerada uma solução para manter o equilíbrio entre o desenvolvimento sustentável e os benefícios ambientais.

De maneira geral, as técnicas de AP estão estruturadas em um ciclo de atividades que se alicerçam na presença de variabilidade espacial de recursos nos campos produtivos. Portanto, os equipamentos e as técnicas utilizadas, visam tirar proveito dessa variabilidade através da coleta e gerenciamento correto das informações.

A coleta de dados de colheita para elaborar mapas de produtividade tornou-se possível pelo desenvolvimento e evolução de diversos equipamentos e sensores (ARSLAN e COLVIN, 2002). A maior parte dos sensores se incorporou naturalmente aos equipamentos agrícolas, importados de outras áreas do conhecimento. Tratando-se de coleta de dados georreferenciados em tempo real, o Sistema de posicionamento global (GPS) foi a ferramenta chave que impulsionou a AP (MOLIN, 1998).

Para realizar o mapeamento da produtividade de uma lavoura de grãos são necessários equipamentos como um receptor GPS, sensor de massa ou volume de grãos, sensor de umidade, sensor de velocidade, sensor de altura de plataforma e um sistema central de aquisição e armazenamento de dados (PEREIRA e MOLIN, 2003). O número e tipos de sensores que compõe os kits para mapeamento da produtividade variam de acordo com o fabricante.

O desenvolvimento de sensores e equipamentos para mapeamento da produtividade foi foco de pesquisa internacional principalmente durante o fim da década de 80 e início da década de 90 (ARSLAN e COLVIN, 2002), quando surgiu no mercado europeu o primeiro monitor de produtividade (MOLIN, 2000). Apesar dos avanços em sensores, a presença de erros nos dados de produtividade impulsionou uma série de estudos para validação dos equipamentos e remoção desses erros (BLACKMORE e MOORE, 1999; MENEGATTI e MOLIN, 2004).

O ciclo de atividades da AP pode iniciar pelo mapeamento da produtividade da lavoura, sendo esta a informação mais completa para o conhecimento da variabilidade

produtiva (MOLIN, 2002), afinal ela representa o resultado final de todas as técnicas utilizadas para a produção. A partir desta informação pode-se investigar atributos passíveis de mensuração que possam estar limitando a produtividade, dentre estes, os de maior destaque na pesquisa são as características químicas (AMADO et al., 2009; SOUZA et al., 2010; ARNÓ et al., 2012) e físicas do solo (SANTOS et al., 2006; GUEDES FILHO et al., 2010; SANTI et al., 2012). Outros fatores como topografia do terreno (KASPAR et al., 2003; MIAO et al., 2006) retenção de água no solo, ataque de insetos e doenças (MACHADO et al., 2002), condutividade elétrica do solo (MOLIN e CASTRO, 2008; GUO et al., 2012), nutrição da cultura (ARNÓ et al., 2012) e vigor da semente (SCHEPERS e HOLLAND, 2012) estão sendo utilizados em menor escala na tentativa de explicar a variabilidade produtiva de diversas culturas.

Apesar da alta quantidade de informações, as pesquisas têm demonstrado resultados diversos, encontrando desde correlações muito boas até a sua ausência. A forma de relacionar as variáveis de solo e a produtividade ainda não está totalmente clara, necessitando de uma metodologia que possa ser prática e eficiente.

Uma das maneiras de avaliar a produtividade e buscar correlações mais eficientes pode se basear na análise temporal de dados de produtividade (BLACKMORE et al., 2003), buscando encontrar similaridade entre as diferentes manchas de produtividade ao longo das safras, dividindo as áreas em zonas com distintos potenciais produtivos ao longo do tempo, nas chamadas unidades ou zonas de manejo (MOLIN, 2002; MILANI et al., 2006; SUSZEK et al., 2011).

Neste sentido o trabalho tem o objetivo de esclarecer o estado atual da arte de mapeamento da produtividade, analisar a similaridade entre mapas ao longo do tempo utilizando diferentes culturas e, por fim, determinar a influência que os atributos do solo exercem na produtividade.

2 ARTIGO I

MAPAS DE PRODUTIVIDADE: DA COLETA À APLICABILIDADE DOS DADOS

2.1 Resumo

A Agricultura de Precisão (AP) compreende um conjunto de tecnologias que aumentam o controle das atividades na propriedade, aumentando a eficiência produtiva e promovendo a qualidade ambiental. O objetivo desta revisão bibliográfica é esclarecer o processo de registro de dados para mapeamento da produtividade e elencar o potencial de uso destas informações no aumento da eficiência produtiva. Entre as etapas da AP, o mapeamento da produtividade deve ser considerado um dos pontos de partida para um sistema de gerenciamento georreferenciado. Inicialmente são descritos os principais equipamentos necessários para realizar a coleta de dados, bem como os cuidados e possíveis erros no registro das informações. Em um segundo momento, são discutidas as principais potencialidades da utilização dos mapas de produtividade para a tomada de decisão de manejo da lavoura. As pesquisas têm apontado alguns caminhos, no entanto, duas técnicas receberam maior destaque, sendo a verificação da estabilidade produtiva em uma sequência temporal de mapas e o uso da correlação entre atributos de solo e a produtividade. A ocorrência de estabilidade temporal na produtividade de grãos é tema de diversas pesquisas e parece não ser clara, sua ocorrência e parâmetros determinantes ainda necessitam ser eficientemente definidos. Os atributos de solo determinantes da produtividade são variáveis, sugerindo que cada local possui fatores sazonais e persistentes que atuam conjuntamente limitando o aumento produtivo.

Palavras-chave: agricultura de precisão, mapas de colheita; sensores de produtividade.

2.2 Abstract

The Precision Agriculture (AP) is a group of technologies that increase control activities on the rural property, increasing production efficiency and promoting environmental quality. The purpose of this literature review is to clarify the process of recording data for yield mapping and rank the potential to use this information in increased production efficiency. Among the

steps the AP, the yield mapping should be considered one of the starting points for a management system georeferenced. Initially outlines key equipment needed to perform the data collection as well as the care and possible errors in recording information. In a second step, we discuss the major potential use of yield maps for decision making crop management. Researches have shown some ways, however, two techniques have received the most attention and checking the productive stability in a time sequence mapping and the use of the correlation between soil attributes and productivity. The occurrence of temporal stability in grain yield is the subject of several studies and seems to be unclear, their occurrence and determining parameters still need to be effectively defined. The soil attributes determinants of productivity are variable, suggesting that each site has seasonal factors and persistent working together to increase the yield limiting.

Keywords: precision agriculture, harvest map, yield sensor.

2.3 Introdução

A agricultura mundial ao longo dos anos têm sofrido profundas modificações, sobretudo, evoluções tecnológicas. Em um mercado global e altamente competitivo, somente sistemas produtivos altamente eficientes perpetuam. Nesse sentido, surgiu a agricultura de precisão (AP), que adaptou um conjunto de sensores e equipamentos importados de diversas áreas do conhecimento, visando dentre outros aspectos, aumentar o controle das atividades, racionalizar o uso de insumos, coletar e gerenciar informações de campo, promover a qualidade ambiental e aumentar a eficiência produtiva.

O mapeamento da produtividade tem se mostrado como uma das mais importantes ferramentas de análise da resposta da cultura à interação entre a planta, o solo, o ambiente e o manejo. O mapeamento da colheita foi uma das técnicas mais importante para a expansão e evolução da AP (COELHO, 2003), podendo ser considerado o ponto de partida de um ciclo de atividades que a compõe (MOLIN, 2002).

Os conjuntos de sensores para mapear a produtividade em caráter comercial surgiram com devido destaque na década de 90 (PIERCE e NOWAK, 1999), com mais de 200 conjuntos diferentes de equipamentos integrados às colhedoras somente no Reino Unido (BLACKMORE e MOORE, 1999). Inicialmente o mapeamento se difundiu em países europeus e, naturalmente, começou a ser importado pelos demais. O Brasil teve os primeiros contatos com a tecnologia a partir de 1997, com trabalhos desenvolvidos pela Embrapa Milho

e Sorgo e pela USP/ESALQ (BALASTREIRE et al., 1997). No Rio Grande do Sul, os primeiros estudos começaram a ser realizados no início do ano 2000, com pesquisas desenvolvidas pela Universidade Federal de Santa Maria em parceria com a Massey Ferguson, através do projeto Aquarius.

Devido ao grande número de conjuntos de monitoramento de produtividade disponíveis no mercado, os tipos de sensores variam de acordo com cada fabricante. Basicamente um sistema de monitoramento de colheita é composto por sensores de fluxo e umidade de grãos, velocidade de deslocamento da colhedora, altura de plataforma, Sistema de Posicionamento Global (GPS) e um sistema de aquisição e armazenamento de dados (PEREIRA e MOLIN, 2003).

A coleta de dados de colheita não é um sistema perfeito, ou seja, está sujeito a falhas que podem ser refletidas nos mapas de produtividade. Desta forma, alguns pesquisadores buscaram identificar (MENEGATTI e MOLIN, 2003), corrigir ou remover os erros nos arquivos de dados visando melhorar a qualidade da informação (BLACKMORE e MOORE, 1999; MENEGATTI e MOLIN, 2004).

O monitoramento temporal da produtividade visa verificar a existência de estabilidade produtiva na lavoura, ou seja, uma distinção dos locais que apresentam alta, média e baixa produtividade ao longo dos anos. Em alguns casos, é possível agrupar estas áreas gerando as chamadas zonas ou unidades de manejo (MOLIN, 2002; MILANI et al., 2006; SANTI, 2007; SUSZEK et al., 2011; SANTI et al., 2013), que são áreas do terreno com igual produção potencial, eficiência do uso de insumos e risco de impacto ambiental (LUCHIARI JR. et al., 2000).

O georreferenciamento das informações de produtividade permite investigar os fatores que estão agindo como limitantes no local específico em que ocorrem. Para Meurer (2007), existem mais de uma centena de fatores que influenciam direta ou indiretamente o crescimento dos vegetais. Tisdale (1993) cita 52 fatores como os principais, destes, 45 passíveis de manejo e sete controláveis apenas indiretamente como temperatura, radiação solar e altitude. Nesse sentido, a AP tem caminhado buscando levantar o maior número de informações de atributos passíveis de mensuração, visando determinar qual o grau de contribuição que cada um exerce na produtividade das culturas.

Entre as variáveis mais pesquisadas, os atributos de solo, principalmente químicos e físicos receberam maior destaque ao longo das pesquisas com AP (MACHADO et al., 2002; SANTOS et al., 2006; SOUZA et al., 2008; AMADO et al., 2009; SOUZA et al., 2010; NOGARA NETO et al., 2011; GONTIJO et al., 2012; SANTI et al., 2012). Para Coelho

(2003), o entendimento das causas da variabilidade observada na produtividade é possível quando se associa com outras informações, por outro lado, as correlações entre a produtividade e estes atributos tem se mostrado baixas em muitos estudos (CARVALHO et al., 2006, SANTOS et al., 2006; CERRI e MAGALHÃES, 2012), o que segundo Kitamura et al., (2007), não significa que não exista apreciável correlação espacial entre os mesmos. Para Rodrigues et al. (2012), observa-se correlação entre os padrões de distribuição espacial quando a intensidade amostral dos atributos do solo é semelhante àquela da produtividade da cultura. Nogara Neto et al. (2011), afirmam que o manejo de atributos químicos de solo com base na análise da produtividade e atributos de solo é viável tecnicamente quando a tomada de decisão é auxiliada por ferramentas estatísticas apropriadas. Santi et al. (2012), utilizando a análise de componentes principais em um conjunto de dados de 63 variáveis químicas e físicas do solo, verificaram que a infiltração de água no solo e o equilíbrio das bases foram as que melhor explicaram a variabilidade na produtividade de grãos.

Neste sentido, esta revisão bibliográfica visa resgatar informações na literatura que esclareçam o leitor sobre o estado da arte das técnicas e equipamentos necessários para o mapeamento da produtividade, bem como, possibilidades de utilização dos mapas de produtividade no gerenciamento e aumento da eficiência dos sistemas produtivos.

2.4 Monitoramento da produtividade

2.4.1 Sensores de produtividade

A tecnologia de medição de fluxo de sólidos em condições estáticas como em armazéns ou indústrias processadoras e embaladoras já está bastante solidificada, desta forma, o desafio gerado a partir do final da década de 80, foi tentar medir o fluxo de grãos em colhedoras sob condições dinâmicas (MOLIN, 2000). Durante o desenvolvimento dos sensores, especial atenção foi dada para que os mesmos não fossem sensíveis, ou minimizassem as vibrações mecânicas transmitidas pela máquina, o que traria consigo erros de acurácia (MOORE, 1998).

Os sensores de produtividade geralmente estão instalados no elevador de grãos limpos ou no final deste, indicando a quantidade de grãos que entram no tanque de armazenamento da colhedora em determinado momento. Existem diferentes métodos de determinar a quantidade de grãos colhidos, podendo ser divididos em medidores de fluxo de massa e medidores de fluxo de volume (ARSLAN e COLVIN, 2002).

Entre os medidores de fluxo de massa, os que utilizam placa de impacto (VANSICHEN e DE BAERDEMAEKER, 1991) são um dos principais mecanismos de mensuração presentes no mercado (Figura 1A). A placa de impacto é instalada junto à saída de grãos limpos do elevador, onde o movimento causado pela força centrífuga das taliscas do elevador arremessa os grãos de encontro à placa. A força aplicada na placa é determinada por um potenciômetro que transforma a força em tensão e compara com as curvas de calibração internas do computador do sistema, de onde o sinal de saída é então convertido em fluxo de massa (MOORE, 1998).

Um mecanismo de impacto que opera de maneira semelhante é o sensor Micro-Trak[®], que é instalado ao final do elevador de grãos limpos e pode ser adaptado em várias colhedoras (MOORE, 1998). O sensor possui garfos que são posicionados através do fluxo de grãos, a partir de então, a força gerada pelo choque dos grãos sobre os garfos é mensurada por uma célula de carga e registrada pelo monitor de colheita (Figura 1B). Segundo Molin (2000), os sensores de fluxo de massa são altamente sensíveis a mudanças na velocidade do elevador de grãos e geralmente utilizam um sensor auxiliar para monitorar o funcionamento do elevador.

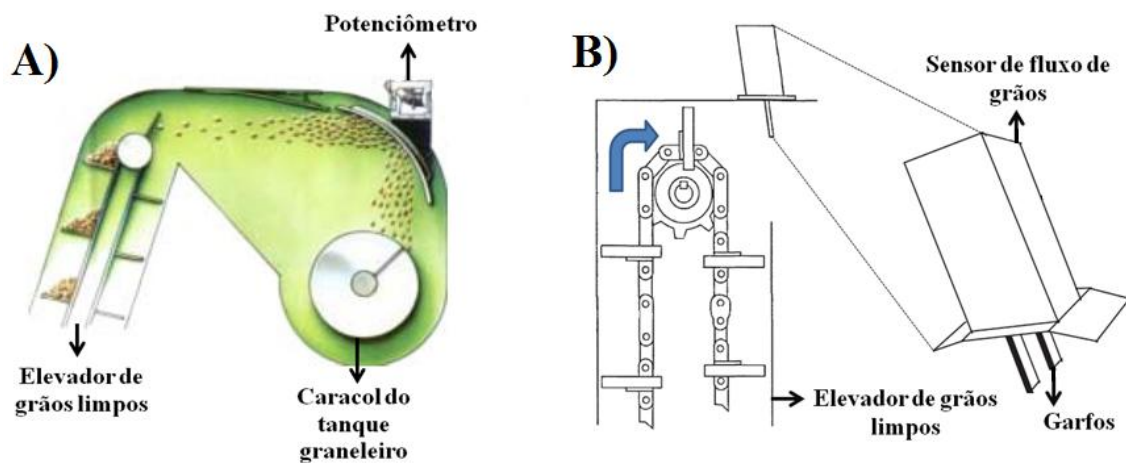


Figura 1 - Sistema de monitoramento de fluxo de massa de grãos por placa de impacto (A) e por garfos (B).

Fonte: A) Morgan e Ess (1997); B) Moore (1998).

Outra forma de determinar a massa do fluxo de grãos é através de sensores de raio gama (Figura 2). Esta tecnologia funciona com uma fonte radioativa instalada no final do elevador de grãos limpos, tendo no seu lado oposto um detector que mensura a energia perdida de acordo com o fluxo de grãos que atravessava o campo (MASSEY FERGUSON, 1993). Devido a problemas com a legislação, o sistema teve que ser substituído em vários países (MOLIN, 2000). No Brasil, a partir de 2003 a empresa Massey Ferguson começou a

substituir a fonte por sensores Micro-Trak[®], adotando o sensor de placa de impacto a partir de 2007.

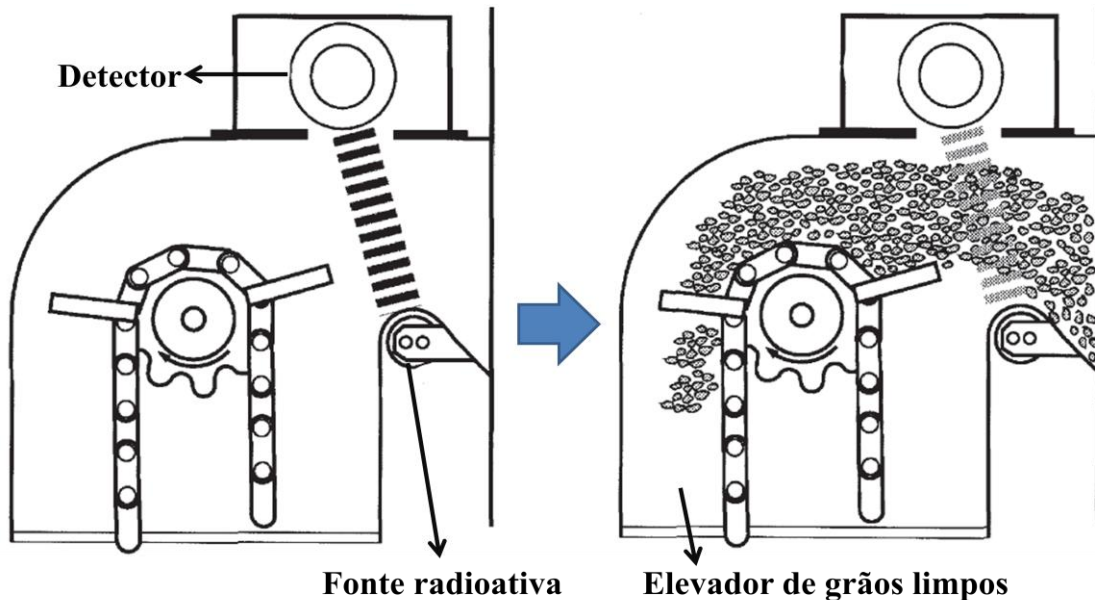


Figura 2 - Sistema de monitoramento de fluxo de massa de grãos por raios gama.

Fonte: Moore (1998).

Os sensores de fluxo de volume determinam o volume de grãos que passa pelo elevador de grãos limpos, sendo necessário neste caso, que haja uma calibração em função da densidade dos grãos para obter a massa correta (ARSLAN e COLVIN, 2002). Os sensores de volume mais conhecidos são o sensor de roda de pás (SEARCY et al., 1989) e o sensor infravermelho (HUMMEL et al., 1995).

O sensor de roda de pás (Figura 3) é um sensor óptico de nível, instalado logo acima de um eixo de pás na saída do elevador de grãos limpos (SEARCY et al., 1989). Na medida em que os grãos saem do elevador, acumulam-se nas pás até que um nível de volume conhecido seja verificado pelo sensor óptico, neste momento a roda de pás gira para que um novo compartimento seja preenchido, aliada a informação da densidade de grãos, é possível determinar a massa de grãos em determinado instante (MOORE, 1998). Este sensor foi o primeiro produto da série Claydon. Com o passar dos anos as empresas fabricantes de colhedoras desenvolveram os seus próprios tipos de sensores, tornando este tipo de sensor um produto redundante (CLAYDON, 2013).

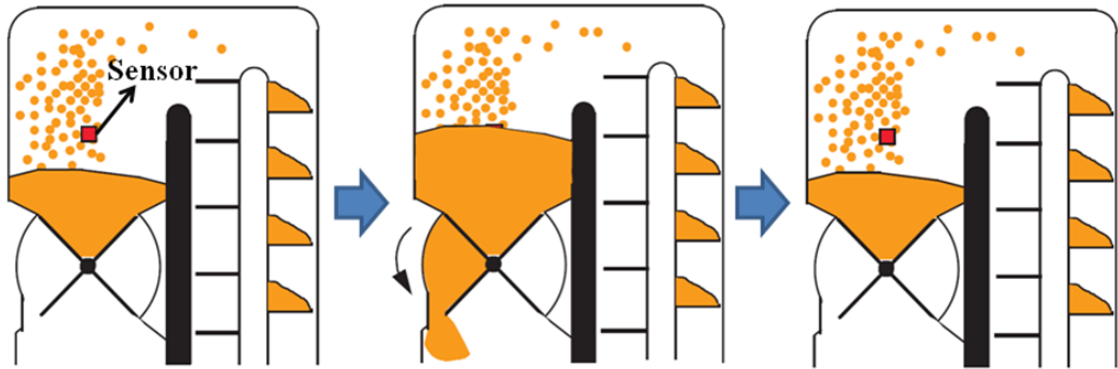


Figura 3 - Sistema de monitoramento do fluxo de volume de grãos por roda de pás.

Fonte: Moore: (1998)

O sensor de volume infravermelho é geralmente instalado em algum ponto do curso do elevador de grãos limpos (Figura 4). A técnica baseia-se na emissão de uma radiação infravermelha em um dos lados do elevador, onde no lado oposto, um elemento fotosensor registra o tempo de recepção e ausência de luz, quanto mais cheias estiver a talisca do elevador maior o tempo de ausência de luz (MOORE, 1998). Esta técnica é altamente dependente da calibração da densidade dos grãos e inclinação lateral da máquina (MOLIN, 2000).

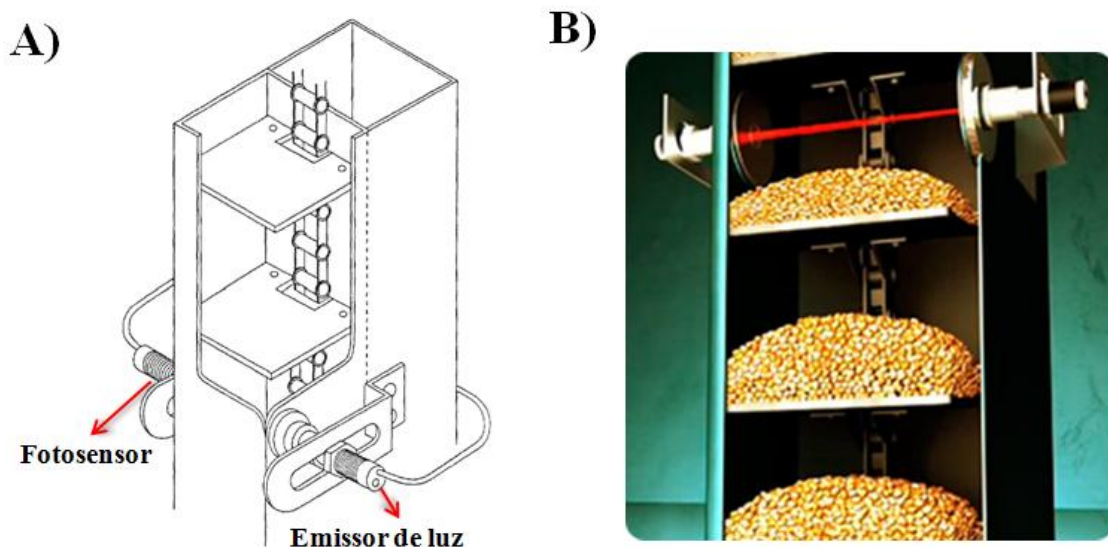


Figura 4 - Sistema de monitoramento do fluxo de volume de grãos através de sensor infravermelho.

Fonte: A) Moore (1998); B) Trimble® (2013).

Outras formas de medir o fluxo de grãos são relatadas com menor expressão na literatura, como o uso de sensores ultrassônicos (KLEMME et al., 1992), técnicas de raio X (ARSLAN et al., 2000) e sensores capacitivos (STAFFORD et al, 1991).

No Brasil as colhedoras surgiram equipadas com sistemas de monitoramento da produtividade exclusivos do fabricante. Com o passar dos anos novas empresas entraram no mercado, oferecendo kits que podem ser adaptados à maioria das colhedoras. A principal distinção entre os conjuntos comercializados está no sensor de produtividade que embora possa ter princípios de mensuração iguais, possuem pequenas particularidades que os diferenciam. Na Tabela 1 estão descritos os principais conjuntos presentes no mercado e seu respectivo princípio de mensuração.

Tabela 1 – Principais marcas comerciais e respectivos princípios de mensuração do fluxo de grãos.

Marca comercial ou fabricante	Princípio de mensuração
AgLeader; New Holland – Fieldstar; Massey Ferguson - Fieldstar; Case IH - AFS; John Deere - Greenstar; Plantium - Sbox; Micro-Trak; New Holland - PLM	Placa de Impacto
Claydon Yield-o-meter	Roda de pás
Class; RDS; Stara - Tooper 4500; Trimble; Loup Electronics	Luz infravermelha

* Modificado de Molin (2000), com complementações.

Auernhammer et al. (1993), estudando a precisão entre sensores de fluxo de massa e volume concluíram que ambos possuem acurácia similar, no entanto, a precisão de sensores de fluxo de volume só é garantida se houver constante medição manual da densidade das culturas para calibração no monitor de produtividade. Observando a Tabela 2, pode-se perceber que o erro médio atribuído à maioria dos sensores presentes no mercado é baixo, desta forma, a limpeza dos sensores e acompanhamento das demais etapas de registro de dados (aferição da velocidade, umidade de grãos, posição geográfica da máquina, largura de plataforma, entre outros) é que determinarão a qualidade da informação gerada para elaboração de mapas temáticos.

Tabela 2 - Alguns sensores de produtividade presentes no mercado e seu respectivo erro médio.

Fluxo de Volume		Fluxo de massa	
Tipo de Sensor	Erro médio (%)	Tipo de Sensor	Erro médio (%)
Roda de pás	1	Placa de impacto com célula de carga	0,5 – 4
Luz infravermelha	2 – 3	Radioativo	1
		Placa de Impacto com Potenciômetro	1

Adaptado de ARSLAN e COLVIN (2002).

2.4.2 Georreferenciamento da informação

O sistema de posicionamento global (GPS) foi criado pelo departamento de defesa dos EUA, inicialmente com fins militares, acabou possuindo grande importância para o uso civil. A partir do ano de 2000, o governo norte americano removeu a chamada “disponibilidade seletiva”, um erro associado ao sinal que impedia a operação de receptores GPS civis com precisão inferior a 90 metros. Este foi um grande marco para a popularização de pesquisas em AP, que até então eram desenvolvidas com precisão apenas por pessoas que possuíam um sinal de correção diferencial pago.

Atualmente existe uma enorme quantidade de receptores GPS no mercado, cada conjunto de monitoramento de colheita possui um específico. A qualidade da informação vai depender do investimento ao qual o produtor está disposto a fazer, podendo ter coordenadas oriundas de um receptor GPS de navegação, ou acompanhado de correção diferencial (DGPS), aumentando a precisão da coordenada. O sinal de correção diferencial pode ser transmitido por um satélite geoestacionário ou ainda por torres que emitem sinal de rádio aos receptores (MOLIN, 1998).

A informação do GPS, juntamente com largura da plataforma e velocidade de deslocamento da máquina determinam a produção por área (produtividade). Embora seja possível monitorar a produtividade com alta precisão de localização, o custo de equipamentos com tal acurácia acaba dificultando a sua instalação com o conjunto de monitoramento de colheita, deste modo, a maioria das colhedoras nacionais possui um erro de posicionamento associado aos dados.

2.4.3 Sensores de velocidade, posição do cabeçote e umidade.

Este conjunto de sensores é responsável pela coleta adicional de informações, permitindo determinar a produção por área (produtividade) corrigida para um padrão de umidade desejado.

A mensuração da velocidade de deslocamento da colhedora pode ser realizada de diferentes formas. Uma maneira comum é utilizar sensores de impulso magnético instalados junto às rodas dianteiras ou traseiras, onde na medida em que a roda gira, pulsos são transmitidos ao monitor. Há ainda opções de mensuração indireta através da instalação de radares e ultrassom em estruturas próximas do solo, determinando o deslocamento através da emissão e recepção de sons ou micro-ondas.

O sensor de altura de plataforma ou posição do cabeçote é responsável por ligar e desligar o sistema de armazenamento de dados, uma vez que a plataforma encontra-se

levantada, o sensor informa o monitor que cessa a coleta. Este sistema foi criado para evitar a coleta de dados errôneos, principalmente em situações onde a colhedora encontra-se em manobras de cabeceira, desvios, deslocamentos sem corte, etc. (MOLIN, 2000).

O sensor de umidade determina a umidade de grãos instantaneamente e pode ser instalado no curso do elevador de grãos limpos ou ao final deste, ao longo do caracol espalhador. O princípio de mensuração mais comum é o de capacitância, semelhante a muitos determinadores utilizados em laboratórios (MOLIN, 2000). Especial atenção deve ser dada na calibração e limpeza deste sensor, uma vez que a produtividade da área será corrigida para um teor de umidade com base nas leituras deste equipamento.

Apesar de algumas colhedoras possuírem o sinal de correção diferencial de GPS, é comum haver erros de mensuração da produção por área, isso ocorre geralmente devido largura de corte informada ao monitor de produtividade ser diferente da efetiva. Alguns monitores oferecem a opção de informar manualmente quanto da plataforma está devidamente realizando a colheita (em casos onde não é utilizada toda a largura da plataforma). Porém devido a estas faixas variarem constantemente por tratar-se de bordaduras e arremates de colheita, poucos operadores realmente informam este valor ao monitor de colheita.

Zhao et al. (2010), desenvolveram em caráter experimental um sensor ultrassônico que funciona acoplado nas duas extremidades da plataforma de corte da colhedora, visando determinar em tempo real a largura efetiva de corte da plataforma. Além dessa informação o sensor é capaz de determinar com precisão o tempo de enchimento da colhedora, que é outra fonte de erros nos dados de colheita.

2.4.4 Erros nos dados de produtividade

O sistema de coleta e armazenamento de dados de produtividade não é perfeito, pelo volume de informações e número de equipamentos integrados que demanda, é natural que ocorram erros na aquisição dos dados. Neste sentido, os pesquisadores tem buscado identificar e corrigir tais erros. Menegatti e Molin (2003; 2004) avaliando seis monitores de produtividade encontraram erros de posicionamento, largura incorreta de plataforma, intervalos de enchimento de colhedora, dados discrepantes e locais com produtividade, umidade e distância entre pontos nula. A maior frequência destes erros ocorreu devido à largura incorreta de plataforma e umidade nula, com frequência variando de 1,29 a 10,80% e 1,06 a 9,50%, respectivamente, dependendo do monitor de produtividade avaliado.

De maneira geral, os erros são oriundos da compilação de um elevado número de informações em um curto espaço de tempo, coletados sob condições dinâmicas e sujeitas a

interferências físicas oriundas do campo, tais como: mudança de temperatura e umidade, vibração dos equipamentos, presença de poeira, entre outros.

Embora os equipamentos de um conjunto de monitoramento de colheita possam apresentar determinados erros, o impacto destes no conjunto de dados é pequeno. Segundo Santi (2007) apesar da remoção de 8% do banco de dados original por processos de filtragem, a conformação dos mapas sofreu pequenas alterações, sobretudo nas extremidades da lavoura, principalmente em locais de manobras da colhedora. Os erros mais comuns são cometidos por falta de atenção dos operadores, tais como, ausência de calibração e limpeza periódica dos sensores, registro de colheita com meia plataforma, e principalmente falta de familiaridade do operador com o sistema operacional do monitor. O operador deve entender que a colheita é mais uma etapa de manejo da cultura, desenvolvendo o trabalho com cuidado, afinal esta é a informação final que irá ilustrar a resposta da planta a todas as práticas de manejo a que foi submetida, uma vez perdida esta informação ou parte dela, todo o trabalho de AP fica comprometido.

2.4.5 Apresentação da informação

De posse de todos os dados fornecidos pelos sensores básicos de um conjunto de monitoramento de colheita, o sistema central de processamento e armazenamento de dados executa a construção de um banco de informações organizado que seja passível de interpretação pelo técnico e/ou produtor. O formato de arquivo oriundo do monitor de produtividade pode ser de código aberto ou fechado, dependendo do fabricante (MENEGATTI e MOLIN, 2004).

Um arquivo de dados de colheita contém uma quantidade relativamente grande de informações, variando de 500 a 1300 pontos por hectare, geralmente determinadas por intervalos de tempo configurados no monitor (MOLIN, 2000). Cada ponto representa uma área retangular do talhão que é dada pela largura da plataforma em função do deslocamento da máquina. A transformação dos valores em produtividade por hectare com correção para uma umidade padrão pode ser realizada pelo próprio monitor de colheita.

A visualização dos mapas geralmente é possível através de um software específico fornecido pelo fabricante do conjunto de monitoramento da colheita, ou ainda por programas genéricos específicos para a AP como SGIS Agronomy[®], SSToolbox[®], FalkerMap[®], CR Campeiro[®], entre outros. Há diversas maneiras de representação gráfica dos mapas, sendo mais comum a visualização por pontos, interpolação e mapas em terceira dimensão (3D). A visualização de dados em 3D, principalmente em sobreposição a imagens de satélite ou

fotografias aéreas, possibilita uma análise investigativa de vários fatores que podem ter contribuído na distribuição da produtividade, tais como, declividade do terreno, fluxos preferenciais de água, falhas na semeadura e adubação, manchas por ataque de pragas entre outros (Figura 5).

Uma prova da potencialidade do uso de imagens aéreas na AP é o recente interesse de empresas da área em fabricar e disponibilizar VANT's (veículos aéreos não tripulados) aos prestadores de serviços. Os VANT's são equipados com câmeras de alta resolução e, em alguns casos, com câmeras multiespectrais, podendo levantar voo e fazer a coleta de informações através de uma rota pré-determinada sem necessidade de operá-lo manualmente.

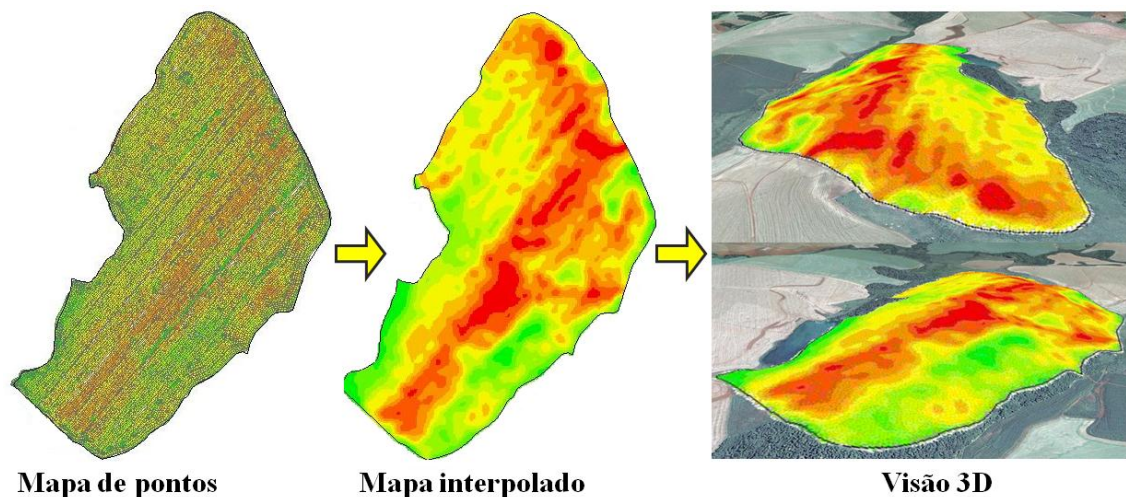


Figura 5 - Diferentes maneiras de apresentação da distribuição da produtividade em uma área de lavoura.

2.5 Interpretação e uso dos mapas de produtividade

2.5.1 Gerenciando as informações

Uma das vantagens de se utilizar um amplo conjunto de sensores para monitorar a colheita é o levantamento de uma série de informações que indiretamente podem auxiliar na interpretação dos dados. Como exemplo, podem-se utilizar os dados de altitude dos pontos para gerar um modelo digital de elevação do terreno, permitindo determinar fluxos preferenciais de água e possíveis processos erosivos em escala inicial. Coelho (2000) encontrou correlações negativas significativas entre a produtividade de milho e a elevação do terreno, resultado similar foi verificado por Souza et al. (2008) na cultura da cana-de-açúcar, atingindo maiores produtividades nos locais mais baixos e potencialmente mais úmidos da lavoura.

Alguns conjuntos de monitoramento de colheita estão equipados com sensores que registram dados de perdas de grãos durante a colheita. Estes dados podem ser úteis para uma correta regulação da colhedora, avaliando o seu desempenho em condições adversas, como colheita com altos teores de umidade do grão, declividade acentuada do terreno e velocidade elevada. Teores de umidade do grão registrados instantaneamente e visíveis pelo operador podem determinar a necessidade ou adiamento da colheita em determinados locais da lavoura.

O registro de informações separadas a cada operação de descarga permite identificar o operador, rendimento de área por hora, velocidade de colheita, perdas e operações de manobra. Estes dados são fundamentais como ferramentas gerenciais de uma propriedade, principalmente para avaliar o desempenho de máquinas e operadores auxiliando no dimensionamento do maquinário visando o aumento da eficiência das operações.

O principal limitante do gerenciamento destas informações refere-se à presença de mão de obra qualificada desde a coleta de dados (colheita), até a análise e interpretação correta do conjunto de informações oriundas do campo.

2.5.2 Influência de fatores de solo na produtividade

Segundo Meurer (2007), o crescimento dos vegetais é determinado por mais de uma centena de atributos divididos em fatores de solo, clima e planta. Para Dampney e Moore (1999) os fatores causadores da variabilidade produtiva das culturas podem ser agrupados em três categorias: fatores fixos que são difíceis de serem alterados (altitude, tipo de solo, textura e profundidade do mesmo); fatores persistentes que são passíveis de alteração (características químicas e físicas do solo); e fatores sazonais que se alteram em um curto espaço de tempo (clima e incidência de pragas e doenças).

A investigação da variabilidade espacial de características químicas do solo através de amostragens equidistantes em malhas regulares tem sido o carro chefe das práticas de AP no Brasil. Muitas empresas se fortaleceram e ganharam espaço no cenário agrícola devido a fácil execução do método de amostragem e a disponibilidade de equipamentos de distribuição de insumos a taxa variável no mercado.

A variabilidade na produtividade das lavouras é assunto consolidado, no entanto, sua homogeneização nem sempre é algo possível e principalmente viável. Para tanto, a investigação das causas da variabilidade utilizando correlação entre atributos do solo e a produtividade tem sido o interesse de diversas pesquisas em nível nacional e internacional. Neste sentido, é necessário também lembrar que a produtividade vegetal é determinada pelo recurso mais escasso e não pela soma dos mesmos. Esta afirmação é alicerçada por pesquisas

atuais que comprovam não haver um recurso substancialmente determinante da produtividade em todas as lavouras, em cada estudo são apontados diferentes agentes causais de acordo com as especificidades locais.

Dentre os fatores químicos do solo, dezessete elementos são considerados essenciais, sem os quais o vegetal não é capaz de completar seu ciclo vital (DECHEN e NACHTIGALL, 2007). Nas investigações em lavouras manejadas com ferramentas de AP, as características químicas de solo que apresentam maiores correlações com a produtividade são: acidez ativa (pH) e saturação de bases (AMADO et al., 2009), matéria orgânica (SOUZA et al., 2008; GONTIJO et al., 2012), potássio (SOUZA et al., 2010; SANTI et al., 2012), fósforo e magnésio (NOGARA NETO et al., 2011), zinco e manganês (GONTIJO et al., 2012).

Quanto às características físicas de solo, a textura e a estrutura podem influenciar acentuadamente o crescimento de plantas. Assim, as propriedades como: densidade, agregação, espaço poroso, umidade, taxa de infiltração de água, erodibilidade, dentre outras que estão intimamente associadas a elas, podem estimular ou inibir o crescimento das plantas (MEURER, 2007). Nas investigações com dados oriundos de áreas manejadas com AP, os fatores físicos do solo que melhor se correlacionaram com a produtividade foram: teor de água no solo (SOUZA et al., 2008; AMADO et al., 2009), textura (MACHADO et al., 2002), compactação (AMADO et al., 2009), porosidade e densidade (SANTOS et al., 2006; AMADO et al., 2009) e infiltração de água no solo (SANTI et al., 2012).

Ainda relacionado a atributos físicos do solo, sabe-se que a disponibilidade de água no solo é o principal limitante direto da produtividade, contudo, esse aspecto tem relação direta com a textura do solo. Ainda que seja difícil determinar a quantidade de água disponível em cada local da lavoura, há métodos indiretos que apresentam elevadas correlações com esse aspecto. A condutividade elétrica é um deles e tem apresentado correlações significativas com o percentual de argila e umidade no solo, além de se correlacionar com a produtividade de milho quando mensurada em horizontes superficiais (MOLIN et al., 2005).

Independente da característica analisada, o grau de influência desta no desenvolvimento da planta é diferente em cada local. Encontrar o grau de influência que cada característica exerce na produtividade é uma das finalidades do grande volume de informações coletados pelas etapas da AP. Nogara Neto et al. (2011), enfatizam a importância de se utilizar ferramentas estatísticas apropriados para avaliar estas relações de solo e planta.

O que tem ocorrido com maior frequência em lavouras manejadas com AP no Brasil, é a comercialização da correção da fertilidade, determinando intervenções com taxa variada para elementos específicos. Os principais serviços prestados atualmente remetem a correção

da acidez do solo e teores de fósforo e potássio. Como estes elementos são parte de um conjunto muito amplo de fatores que determinam a produtividade, fica difícil oferecer respostas produtivas incisivas ao produtor usando somente adubações com taxas variadas, desta forma, muitas vezes a informação do mapa de produtividade é omitida ou não tem devido destaque pelos prestadores de serviço.

Técnicas mais recentes utilizadas por empresas de AP se usam de mapas de produtividade ou imagens aéreas para orientar as amostragens de solo, dividindo as áreas em locais homogêneos do ponto de vista produtivo. Esta divisão visa investigar as causas da variabilidade in loco, no entanto, a metodologia ainda não possui validação científica clara e necessita de resultados mais concretos para ser utilizada em larga escala.

Quando se procura entender a variabilidade espacial da produtividade baseada na relação entre atributos químicos e físicos do solo, observa-se que a estrutura da variabilidade dos mapas de produtividade é menor do que a distância de amostragem de solo que vem sendo adotada pelos prestadores de serviço, ou seja, as variações de produtividade ocorrem em intervalos menores que as distâncias comumente utilizadas para amostragem de solo em nível comercial (de um a cinco hectares). Logo, se realmente existem efeitos diretos de atributos químicos do solo na produtividade, parte destas informações não estão sendo captadas. Cherubin (2013) demonstrou que a própria estrutura da variabilidade espacial dos principais atributos químicos de solo não caracterizada eficientemente utilizando as malhas de amostragem comerciais utilizadas no Rio Grande do Sul. Deste modo, especial atenção deve ser dada a maneira de correlacionar as variáveis, bem como, métodos estatísticos utilizados e maneira de coleta dos dados.

2.5.3 Utilização de zonas de manejo

Unidades ou zonas de manejo são locais que apresentam um conjunto de características semelhantes permitindo o seu agrupamento para facilitar o manejo da lavoura. Uma das características utilizadas para a separação de zonas de manejo tem sido a similaridade temporal de mapas de produtividade.

Apesar de haver grande variabilidade espacial na produtividade de uma cultura, é possível em alguns casos, se observar certa tendência à similaridade nos mapas. Coelho (2003), utilizando mapas de produtividade de duas safras consecutivas de milho em uma mesma área sob condições irrigadas, observou alta correlação entre os mesmos ($r = 0,75$) não havendo diferenças significativas do efeito ano na produção de grãos. Se os fatores limitantes à produtividade se expressaram igualmente ao longo do tempo, torna-se possível realizar uma

análise específica destes locais, através da coleta de informações de atributos de solo, manejo e ambiente para diagnosticar os agentes limitantes da produtividade.

Para Molin (2002) é possível definir unidades de gerenciamento diferenciado através da estabilidade temporal da produtividade, desde que respeitados os limites e condições de agrupamento desejados ou adequados. A maneira mais usual de comparar mapas é através da normalização dos valores absolutos de produtividade, ou seja, transformam-se os dados de produtividade em um valor percentual em relação à média da lavoura e, partir destes, se estabelecem classes de agrupamento (MOLIN, 2002). A partir desta metodologia pode-se determinar zonas com baixa, média e alta produtividade ao longo dos anos, além de diferenciar locais com instabilidade produtiva.

Santi (2007), utilizando a metodologia descrita por Molin (2002) gerou um mapa de estabilidade produtiva a partir da análise de uma sequência temporal de seis mapas de produtividade de culturas alternadas (Figura 6). Zonas de manejo a partir da estabilidade na produtividade temporal utilizando a mesma metodologia também foram definidas por Trabachini et al. (2009), avaliando três mapas sequenciais de milho safrinha. Kaspar et al. (2003) sugerem que a estabilidade produtiva de milho está altamente correlacionada com o regime de chuvas do local, principalmente em locais de declive acentuado, podendo apresentar comportamento inversamente proporcional em razão de anos secos e normais.

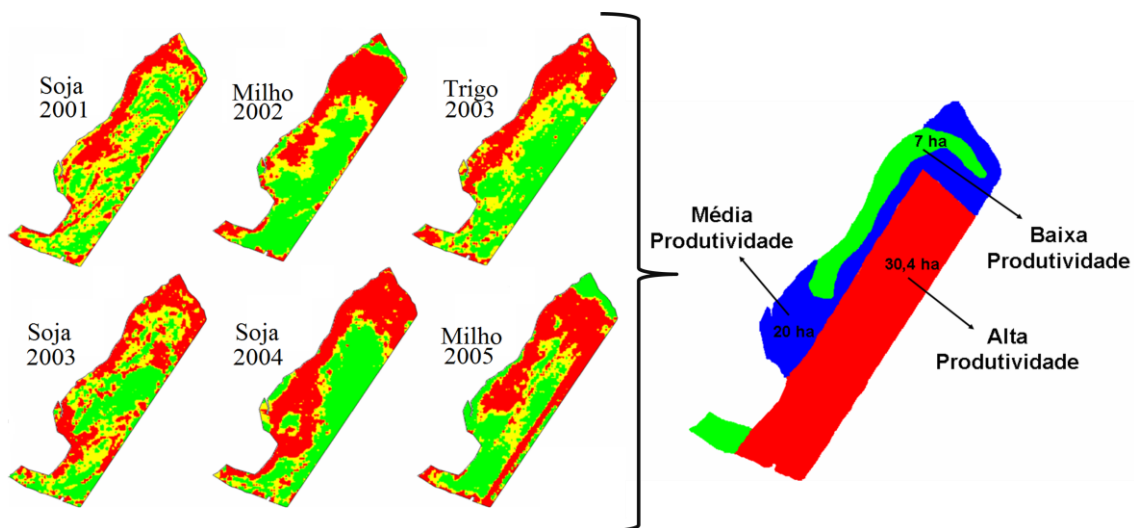


Figura 6 - Sequência temporal de mapas de produtividade gerando um mapa de estabilidade de zonas produtivas.

Fonte: Adaptado de Santi (2007).

Milani et al. (2006), avaliando 5 mapas de produtividade sequencias da cultura da soja, verificaram a existência de variabilidade temporal da produtividade, no entanto, foi possível

definir eficientemente unidades de manejo. Blackmore et al. (2003), não observaram tendências produtivas ao utilizarem seis mapas de produtividade em quatro campos, avaliando as culturas do trigo, cebola, cevada e canola.

2.6 Considerações finais

A AP além de modernizar, está mudando o panorama rural brasileiro. Avanços significativos estão ocorrendo em termos de gerenciamento dos recursos produtivos, refletindo em retornos financeiros e promoção da qualidade ambiental. Os conjuntos de monitoramento de colheita, apesar de largamente difundidos continuam apresentando alguns erros básicos, podendo comprometer alguns resultados, principalmente se tratando de análise temporal dos mapas. Existem poucas metodologias para remoção destes erros, sabe-se que embora eficientes, estas técnicas ao invés de corrigir, acabam apagando os pontos do banco de dados, o que em tese, não resolve o problema. Neste sentido, há a necessidade de novas pesquisas que visem o aumento da qualidade da informação, uma vez que a AP tem constantemente corrigido a macrovariabilidade e exigido dados acurados para complementação do processo.

O mapeamento da produtividade deve ser considerado uma das principais etapas do ciclo da AP, visto que é a informação mais completa da lavoura, pois representa a resposta da integração entre o solo, o clima, o ambiente, o manejo e a planta. Desta forma, o mapa representa o padrão de resposta da planta às intervenções de manejo realizadas na lavoura, servindo de parâmetro para o correto ajuste das futuras intervenções. O agrupamento temporal destas informações constitui uma prática valiosa para a AP, pois pode em alguns casos identificar fatores persistentes limitantes a produtividade de grãos, podendo se utilizar a investigação in loco para sua correção.

O número de informações por área tem aumentado de maneira expressiva, no entanto, as respostas esperadas de produtividade parecem não ser totalmente explicadas pelas informações tradicionalmente coletadas. Desta forma, os atributos químicos e físicos de solo por si só, não explicam toda a variabilidade das culturas, criando a necessidade de mensurar outros atributos que agem diretamente como limitantes ao aumento da produtividade de grãos.

Há um enorme potencial de utilização das informações de colheita no gerenciamento agrícola, apesar disso, o maior limitante é a aquisição e interpretação correta destas informações para que se possa definir um plano de ação eficiente. Várias técnicas de agrupamento e análise temporal da produtividade têm sido testadas, no entanto, ainda há a

necessidade de se consolidar uma metodologia simples e eficiente que possa ser utilizada pelo próprio produtor.

2.7 Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo e a todos os autores dos trabalhos de pesquisa citados nesta revisão bibliográfica.

2.8 Referências Bibliográficas

AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, 831-843, 2009.

ARSLAN, S.; COLVIN, T. S. Grain Yield Mapping: Yield sensing, Yield reconstruction, and errors. **Precision Agriculture**, v.3, p. 135-154, 2002.

ARSLAN, S.; INANC, F.; GRAY, J. M.; COLVIN, T. S. Grain flow measurements with x-ray techniques. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 26, 65-80, 2000.

AUERNHAMMER, H.; DEMMEL, M.; MUHR, K.; ROTTMEIER, J.; WILD, K. **Yield measurements on combine harvesters**. ASAE Paper N. 93-1506, 1993.

BALASTREIRE, L. A.; ELIAS, A. I.; AMARAL, J. R. Agricultura de Precisão: Mapeamento da Produtividade da Cultura do Milho. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 5, p. 308-324, 1997.

BLACKMORE, S.; GODWIN, R. J.; FOUNTAS, S. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. **Biosystems Engineering**, v. 84, n. 4, p. 455- 466, 2003.

BLACKMORE, B. S.; MOORE, M. R. Remedial correction of yield map data. **Precision Agriculture**, v.1, p.53-66, 1999.

BORGELT, S. C. Sensing and measuring technologies for site-specific management. In: ROBERT, P. C.; RUST, R. H.; LARSON, W. E. (Eds). **Soil specific crop management**. ASA, CSSA, and SSSA, p. 141–157, 1993.

CARVALHO, G. J.; CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; MARTINS, M. V. Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.3, p.765-771, 2006.

CERRI, D. G. P.; MAGALHÃES, P. S. G. Correlation of physical and chemical attributes of soil with sugarcane yield. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.47, n.4, p. 613-620, 2012.

CHERUBIN, M. R. **Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização de atributos químicos em Latossolos manejados com agricultura de precisão**. 2013. 99p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Agricultura e Ambiente) - Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2013.

CLAYDON. **Claydon Products – Yield-O-Meter**. Disponível em: <<http://claydondrills.com/products/yom>> Acesso em: 01/06/13.

COELHO, A. M. Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURI, R. F.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVARES V., V. H. (Eds). **Tópicos em Ciência do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.259-290, 2003.

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. Thesis (University of Nebraska), Lincoln, 2000.

DAMPNEY, P. M. R.; MOORE, M. Precision agriculture in England: current practice and research-based advice to farmers. In: International Conference on Precision Agriculture, 4., 1998, St. Paul. **Proceedings...** Madison: American Society of Agronomy, 1999. p.661-674.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L (eds). **Fertilidade do Solo**. SBCS - UFV. p. 92-132, 2007.

GONTIJO, I.; NICOLE, L. R.; PARTELLI, F. L.; BONOMO, R.; SANTOS, E. O. J. Variabilidade e correlação espacial de micronutrientes e matéria orgânica do solo com a produtividade da pimenta-do-reino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p. 1093-1102, 2012.

HUMMEL, J. W., PFEIFFER, D. W.; MILLER, N. R. Sensing grain volumes on individual elevator flights. In: ROBERT, P. C. (Ed). **Site-specific management for agricultural systems**. ASA, CSSA, and SSSA, p. 69-86, 1995.

KASPAR, T. C.; COLVIN, T. S.; JAYNES, D. B.; KARLEN, D. L.; JAMES, D. E.; MEEK, D. W.; PULIDO, D.; BUTLER, H. Relationship between six years of corn yields and terrain attributes. **Precision Agriculture**, v. 4, p. 87-101, 2003.

KITAMURA, A. E; CARVALHO, M. P.; LIMA, C. G. R. Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, p. 361-369, 2007.

KLEMME, K. A.; SCHUMACHER, J. A.; DONELL, D. P. **Results and advantages of a spatially variable technology for crop yield**. ASAE Paper N. 92-1651. ASAE, 1992.

LUCHIARI JR., A.; SHANAHAN, J.; LIEBIG, M.; SCHLEMMER, M.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D.; PAYTON, S. Strategies for Establishing Management Zones for Site Specific Nutrient Management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., 2000, Minneapolis. **Proceedings...** Minneapolis: University of Minnesota, 2000.

MACHADO, S.; BYNUM JR., E. D.; ARCHER, T. L.; BORDOVSKY, J.; ROSENOW, D. T.; PETERSON, C.; BRONSON, K.; NESMITH, D. M.; LASCANO, R. J.; WILSON, L. T.; SEGARRA, E. Spatial and temporal variability of sorghum grains yield: influence of soil, water, pests, and diseases relationships. **Precision Agriculture**, v.3, p.389-406, 2002.

MASSEY FERGUSON. **Yield mapping system**. Manufacturers Catalog - MF 30/40 Series Combines, 1993.

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P. Metodologia para identificação e caracterização de erros em mapas de produtividade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 367-374, 2003.

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P. Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, p.126-134, 2004.

MEURER, E. J. . Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. H. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Org.). **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 65-90, 2007.

MILANI, L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A; PEREIRA, J. O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 591-598, 2006.

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

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

MOLIN, J. P. Utilização de GPS em agricultura de precisão. **Engenharia Agrícola**, v.17, n.3, p.121-132, 1998.

MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; SCHMIDHALTER, U.; HAMMER, J. Mensuração da condutividade elétrica do solo por indução e sua correlação com fatores de produção. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.2, p.420-426, 2005.

MOORE, M. **An Investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management**. 1998. 379 p. (Ph. D. Thesis) Department of Agriculture and Biosystems Engineering. Cranfield University. Silsoe - UK, 1998.

MORGAN, M., ESS, D. **The Precision Farming guide for agriculturists**. Deere & Company, Moline, USA, 1997, 117p.

NOGARA NETO, F.; ROLOFF, G.; DIECKOW, J.; MOTTA, A. C. V. Atributos de solo e cultura espacialmente distribuídos relacionados ao rendimento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1025-1036, 2011.

PEREIRA, F. J. S.; MOLIN, J. P. Bancada de ensaio para avaliação de monitores de produtividade de grãos. **Engenharia Agrícola**, v.23, p.568-578, 2003.

PIERCE, F. J.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. **Advances in Agronomy**, v.67, p.1-85, 1999.

RODRIGUES, M. S.; CORÁ, J. E.; FERNANDES, C. Spatial relationships between soil attributes and corn yield in no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 599-609, 2012.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. 150p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; MARTIN, T. N.; PIRES, J. L.; DELLA FLORA, L. P.; BASSO, C. J. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1346-1357, 2012.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; EITELWEIN, M. T.; CHERUBIN, M. R.; SILVA, R. F.; DA ROS, C. O. Definição de zonas de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão. **Agrária**, 2013 (in press).

SANTOS, M. L.; CARVALHO, M. P.; RAPASSI, R. M. A.; MURAIISHI, C. T.; MALLER, A.; MATOS, F. A. Correlação linear e especial entre a produtividade de milho (*Zea mays* L.) e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto do Cerrado Brasileiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.28, p.313-321, 2006.

SEARCY, S. W.; SCHUELLER, J. K.; BASE, Y. H.; BORGELT, S. C.; STOUT, B. A. Mapping of spatially variable yield during grain combining. **Transactions of the ASAE**, v.32, p.826-829, 1989.

SOUZA, Z. M.; CERRI, D. G. P.; COLET, M. J.; RODRIGUES, L. H. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; MANDONI, R. J. A. Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. **Ciência Rural**, v.40, p.840-847, 2010.

SOUZA, Z. M.; CERRI, D. G. P.; MAGALHÃES, P. G.; CAMPOS, M. C. C. Correlação dos atributos físicos e químicos do solo com a produtividade de cana-de-açúcar. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 2, p. 183-190, 2008.

SUSZEK, G.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; NOBREGA, L. H. P. Determination of management zones from normalized and standardized equivalent productivity maps in the soybean culture. **Engenharia Agrícola**, v.31, p.895-905, 2011.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D.; HAVLIN, J. L. **Soil fertility and fertilizer**. New York: MacMillan, 1993. 1634 p.

TRABACHINI, A.; MANTOAM, E. J.; PAVLU, F. A.; MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo baseado em mapas de produtividade. **Revista Sapere**, v. 1, p. 1-8, 2009.

TRIMBLE. **Agriculture Solutions – Yield Monitoring**. Disponível em: <<http://www.trimble.com/agriculture/yield-monitoring.aspx>> Acesso em: 03/06/2013.

VANSICHEN, R.; DE BAERDEMAEKER, J. Continuous wheat yield measurements on a combine. In: **Automated Agriculture for the 21st Century**. ASAE Publication N. 1191, p. 346-355, 1991.

ZHAO, C.; HUANG, W.; MENG, L. C. Z.; WANG, Y.; XU, F. A harvest area measurement system based on ultrasonic sensors and DGPS for yield map correction. **Precision Agriculture**, v.11, p.163-180, 2010.

3 ARTIGO II

MAPEAMENTO DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS: ANÁLISE DA ESTABILIDADE PRODUTIVA

3.1 Resumo

O mapeamento da produtividade de grãos é uma das principais ferramentas da Agricultura de Precisão, representando a materialização da resposta das plantas às condições de desenvolvimento impostas. O objetivo deste trabalho foi verificar a presença de estabilidade produtiva de grãos em áreas com histórico de mapeamento da produtividade. O estudo foi conduzido em quatro áreas de Latossolo Vermelho distrófico típico no município de Boa Vista das Missões – RS. Em cada área foram utilizados quatro mapas de produtividade de culturas alternadas, como soja, milho, trigo e aveia. Os dados de produtividade foram filtrados e divididos em células de 400 m² (20 x 20 m), sendo normalizados para possibilitar a comparação temporal entre culturas distintas. Foram gerados mapas demonstrando a variabilidade da estabilidade produtiva e do coeficiente de variação entre os anos. Os resultados demonstraram haver alta variabilidade na produtividade de grãos, podendo ser causada por fatores persistentes e sazonais. Não há uma regra de distribuição para todas as áreas, ou seja, cada local responde de maneira diferente quanto a estabilidade. A diferenciação de locais com distinta capacidade produtiva é mais clara em áreas com alta variabilidade na produtividade.

Palavras-chave: agricultura de precisão, mapas de rendimento; monitoramento de colheita.

3.2 Abstract

The mapping of grain yield is one of the main tools of precision agriculture, representing the materialization of the plant response to development conditions imposed. The objective of this work was to verify the presence of grain yield stability in areas with historical yield mapping. The study was conducted in four areas of Oxisol in Boa Vista das Missões - RS. In each area we used four maps alternate crops, such as soybean, corn, wheat and oats. Productivity data were filtered and divided into cells of 400 m² (20 x 20 m), being standardized to enable comparison over time between different cultures. Maps were generated

showing the variability of the production stability and the coefficient of variation between different years. The results showed that there is high variability in grain yield, which may be caused by persistent and seasonal factors. There is no distribution rule for all areas, in other words, each site responds differently as stability. The differentiation of distinct sites with productive capacity is clearest in areas with high variability in productivity.

Keywords: precision agriculture, soil sampling, soil fertility, site-specific management.

3.3 Introdução

As técnicas utilizadas pela agricultura de precisão (AP) possibilitam o manejo diferenciado de áreas específicas da lavoura, através da coleta e georreferenciamento de informações que podem afetar a produtividade de grãos. Dentre as tecnologias desenvolvidas pela AP, o mapeamento da produtividade pode ser considerado como o ponto de partida de um ciclo de atividades (MOLIN, 2002), sendo a resposta da planta as condições de manejo de ambiente impostas.

O método utilizado para geração de mapas detalhados de produtividade exige certa sofisticação para obtenção dos dados essenciais (MOLIN, 2000), no entanto, a tecnologia vem se consolidando no país. A alta densidade de coleta trouxe consigo a presença de erros nos dados, apesar disso, o desenvolvimento de filtros específicos tem colaborado para melhorar a qualidade da informação (BLACKMOORE e MOORE, 1999; MENEGATTI e MOLIN, 2004).

O mapa de produtividade representa o efeito combinado de diversas fontes de variabilidade espacial e temporal, onde uma parte dessa variabilidade pode ser atribuída a fatores que são constantes ou variam lentamente, enquanto outros fatores são transitórios, mudando sua importância e distribuição espacial a cada safra. O efeito de fatores constantes em uma área pode ser persistente ou não, sendo necessário o monitoramento temporal da produtividade para avaliá-lo.

Santos et al. (2001), monitorando a produtividade de uma safra de milho observaram alta variabilidade, sugerindo ações de manejo por zonas de atuação, usando a observação temporal da produtividade para o mapeamento de tendências. Carvalho et al. (2001), afirmam que a produtividade sofre influências espaciais e temporais, tornando-se temeroso o uso indiscriminado de mapas de produtividade sem que haja um modelo de produtividade definido, sendo necessário avaliar temporalmente os mapas de uma mesma área e caracterizar as variações.

Kaspar et al. (2003), consideram ser possível a distinção de zonas produtivas em lavouras de milho quando observadas condições do terreno e o regime hídrico ao qual a cultura é submetida. Blackmore et al. (2003), não observaram tendências produtivas ao utilizarem seis mapas de produtividade em quatro campos, trabalhando com as culturas do trigo, cebola, cevada e canola. Milani et al. (2006), encontraram um padrão de variabilidade produtiva pouco semelhante quanto a distribuição na área ao longo de cinco anos de avaliação na cultura da soja, no entanto, foi possível definir eficientemente unidades de manejo utilizando os dados de produtividade. Santi et al. (2013), delimitaram zonas de estabilidade produtiva em duas áreas cultivadas com soja, milho e trigo, exigindo um histórico mínimo de três mapas de produtividade de mais de uma cultura para uma correta distinção de unidades estáveis.

A definição de unidades estáveis de produtividade ainda não é totalmente clara na literatura, variando de acordo com a cultura, condições ambientais e condições experimentais (tamanho e heterogeneidade da área). Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi verificar e avaliar a estabilidade produtiva de quatro áreas comerciais utilizadas para a produção de grãos sob sistema de plantio direto.

3.4 Material e Métodos

O estudo foi conduzido em quatro áreas agrícolas no município de Boa Vista das Missões - RS, localizadas entre as coordenadas geográficas de 27°42'14" e 27°44'38" de latitude sul e 53°19'46" e 53°21'47" de longitude oeste (Figura 1). O relevo da região é suave ondulado e o solo presente nas áreas experimentais, é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (SANTOS et al., 2006a), de textura muito argilosa. O clima do local é subtropical de primavera úmida (STPU) com temperatura média anual de 18,1°C e precipitação pluvial anual média de 1.919mm (MALUF, 2000). A precipitação nas áreas durante o período de monitoramento da produtividade pode ser visualizada no apêndice A.

Para o estudo da estabilidade produtiva foram selecionadas quatro áreas úteis no interior de cada talhão (Figura 1). As áreas foram escolhidas visando excluir as extremidades da lavoura, locais de manobra da colhedora, estradas, drenos, curvas de nível, processos erosivos e outras fontes de variação sazonais que possam comprometer os resultados temporalmente. Desta forma, buscou-se selecionar áreas retangulares homogêneas do ponto de vista visual.

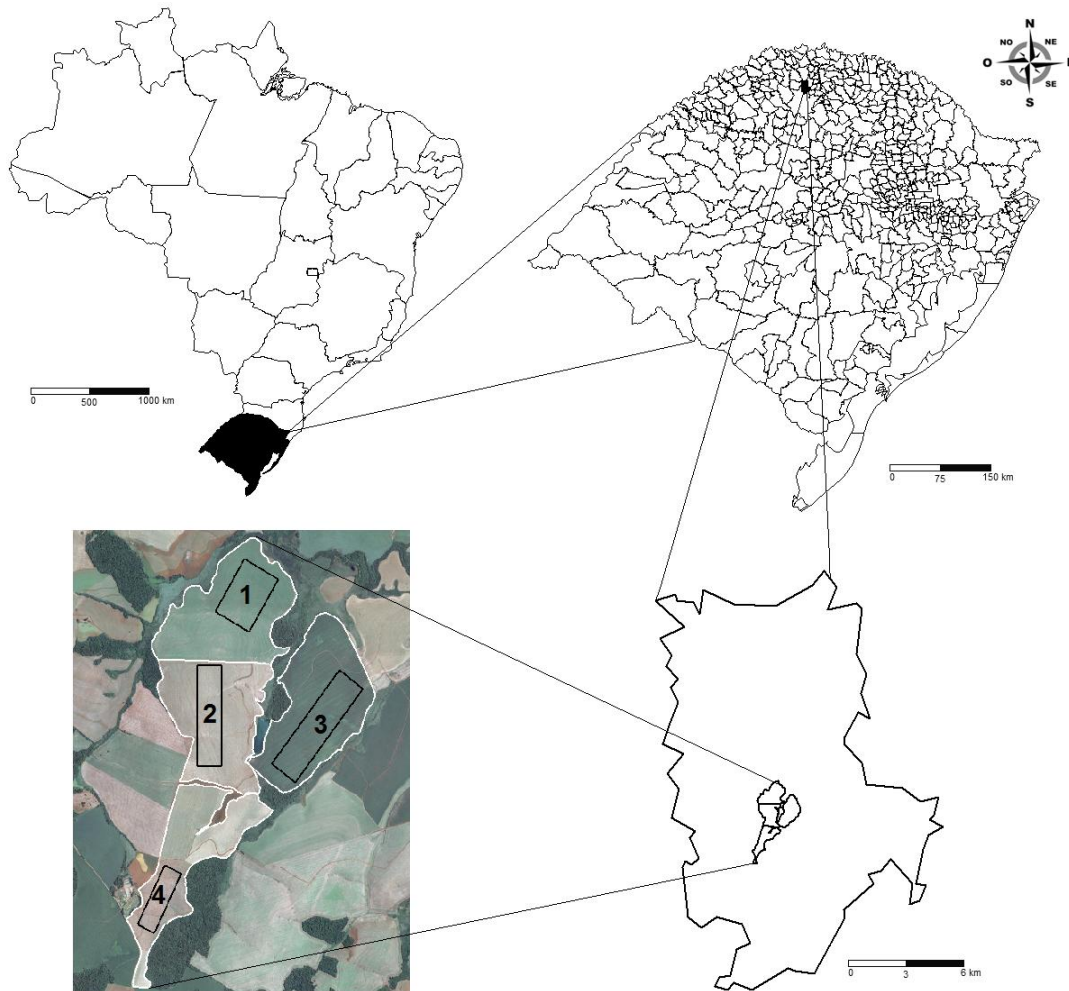


Figura 1 - Localização geográfica e das áreas utilizadas no estudo (1, 2, 3 e 4).

Cada área possui um histórico de quatro mapas de colheita alternados de 2009 a 2013 utilizando as culturas de soja, milho, trigo e aveia (Tabela 1). A adubação destas culturas foi realizada utilizando taxa fixa de fertilizantes seguindo a recomendação da CQFS-RS/SC (2004).

As informações de produtividade foram obtidas por uma colhedora Case Axial-Flow 2399, equipada com o sistema AFS[®] (Advanced Farming System) para monitoramento de colheita. O fluxo de colheita é determinado por um sensor de placa de impacto instalado ao final do elevador de grãos limpos, esta informação em conjunto com as leituras do sensor de umidade determina o fluxo instantâneo de grãos secos. A velocidade de deslocamento e a largura da plataforma determinam a área colhida e associam esta informação ao fluxo de grãos, o monitor de colheita instalado na cabine é responsável por receber, ordenar e armazenar as informações que são georreferenciadas em um ponto pelo sinal de GPS.

Tabela 1 - Eventos de colheita utilizados no estudo de acordo com cada área.

	Área			
	1	2	3	4
Eventos de colheita	Soja 2010* Milho 2011 Trigo 2011 Soja 2013	Soja 2009 Soja 2011 Trigo 2012 Soja 2013	Milho 2009 Soja 2010 Aveia 2010 Milho 2013	Soja 2010 Trigo 2010 Soja 2011 Soja 2013

* O ano que acompanha a cultura corresponde ao ano de colheita da mesma.

Devido à alta densidade de coleta de pontos de produtividade, que pode variar de 500 a 1300 por hectare de acordo com configurações ajustadas no monitor (MOLIN, 2000), torna-se comum a presença de erros associados a estes dados (MOORE, 1998; MENEGATTI e MOLIN, 2003), desta forma, visando remover estas falhas, realizou-se a filtragem dos dados utilizando a metodologia proposta por Menegatti e Molin (2004). Os dados de colheita foram abertos no programa SMS Basic[®], exportados em formato de código aberto e filtrados com o auxílio de planilhas eletrônicas e do programa CR - Campeiro 7 (GIOTTO e ROBAINA, 2007).

De posse dos dados filtrados, se sobrepôs nas áreas uma malha amostral quadrangular de 20 x 20 metros com a finalidade de possibilitar a comparação temporal entre células, reduzir o número de pontos e aumentar a velocidade de processamento dos dados (Figura 2). Cada quadrícula recebeu um valor médio de produtividade em função dos pontos que se encontravam no seu interior.

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, visando verificar a posição e dispersão dos mesmos, através do programa *Statistical Analysis System* – SAS 8.0 (SAS INSTITUTE, 1999). Os parâmetros estatísticos determinados foram: mínimo, máximo, média, desvio padrão (DP), coeficientes de variação (CV%), assimetria (Cs) e de curtose (Ck). Complementar a estatística descritiva realizou-se o Teste W (Shapiro-Wilk), para verificar a existência de tendência central de frequência dos dados (distribuição normal), sendo considerados como distribuição de probabilidade normal os dados que apresentaram valor não significativo ao nível de 5% de significância. Com a finalidade de observar a similaridade entre a produtividade das culturas ao longo dos anos, utilizou-se a correlação de Spearman, que é uma técnica estatística não paramétrica análoga ao coeficiente de correlação de Pearson, sendo mais indicada em casos onde os dados não seguem uma distribuição bem caracterizada (normal ou não) (PASSARI et al., 2011).

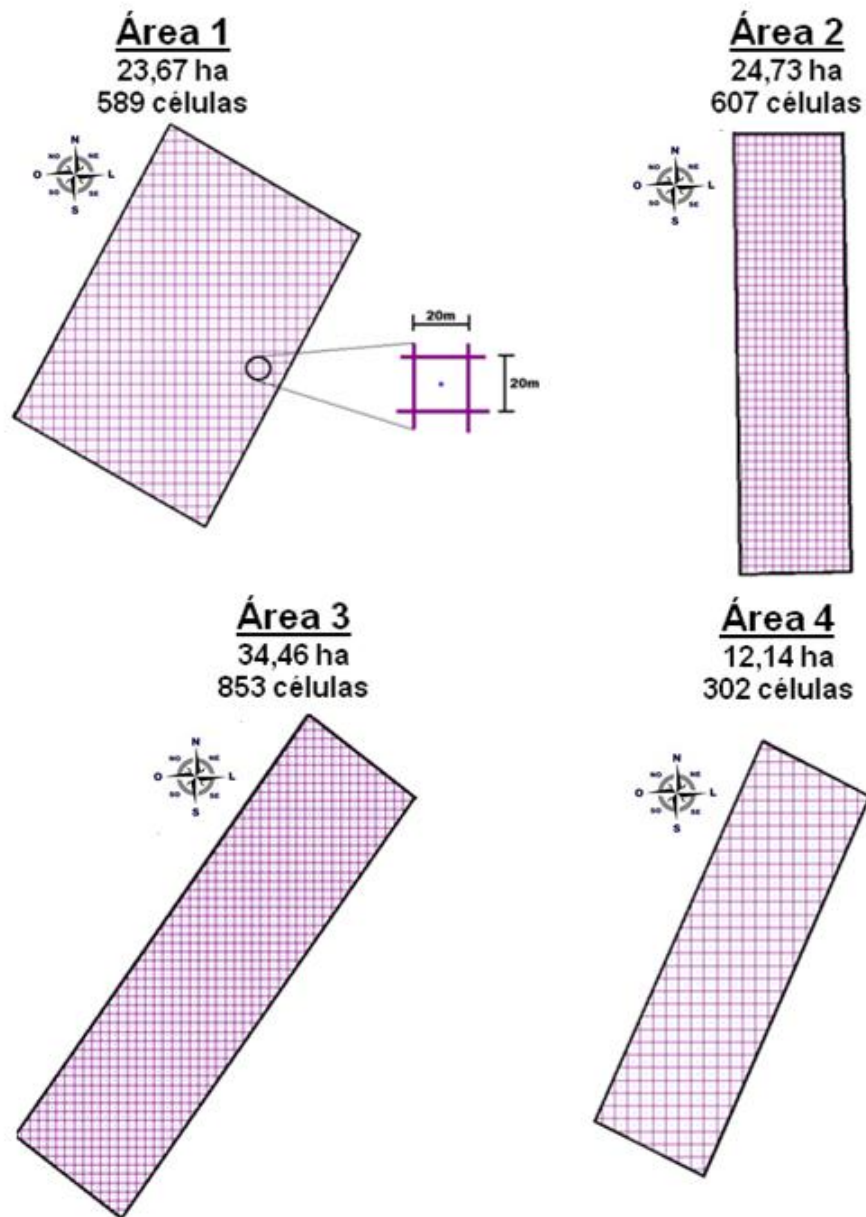


Figura 2 - Esquema de divisão das áreas para redução da densidade dos pontos de produtividade.

Para a construção dos mapas temáticos, foram utilizados os métodos de interpolação por inverso do quadrado da distância através do software CR - Campeiro7 (GIOTTO e ROBAINA, 2007). As classes usadas para legendas dos mapas foram determinadas de acordo com metodologia utilizada por Milani et al. (2006), ordenando os dados em ordem crescente e dividindo o conjunto em três classes iguais, sendo: produtividade baixa: valores menores que o 33º percentil; produtividade média: valores maiores ou iguais ao 33º percentil e menores que o 67º percentil e; produtividade alta: valores maiores que o 67º percentil.

Para a construção dos mapas de estabilidade produtiva, o valor de cada célula foi normalizado em relação a média de produtiva da área no ano avaliado (MOLIN, 2002), visando poder compará-los no espaço e no tempo independente da cultura utilizada. Após a normalização dos dados, foram sobrepostos os quatro mapas de produtividade de cada área gerando um mapa final contendo em cada quadricula o valor médio relativo de produtividade dos quatro anos. Os mapas de estabilidade produtiva foram espacializados utilizando o interpolador “inverso do quadrado da distância” (MOORE, 1998, MOLIN, 2002).

Como medida de auxílio para verificar a estabilidade produtiva, foram gerados mapas do coeficiente de variação (CV) final de cada célula, determinados através dos dados normalizados de cada quadricula, sendo classificados como baixo quando CV for inferior a 10% (alta precisão), médio quando o CV estiver entre 10% e 20% (boa precisão), alto de 20% a 30% (baixa precisão) e altíssimo com CV maior que 30% (baixíssima precisão) (PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2000).

3.5 Resultados e Discussão

De acordo com a estatística descritiva dos dados de produtividade (Tabela 2) percebeu-se uma ampla variabilidade na densidade de coleta das informações, variando de 553 pontos por hectare na cultura da soja no ano 2010 (área 1) até 1243 pontos por hectare na cultura do trigo no ano de 2010 (área 4). Como os pontos são coletados por tempo, a densidade é altamente dependente da velocidade da colhedora e do período necessário para colheita do talhão, que por sua vez está ligado à declividade do terreno, umidade do material colhido, capacidade de trilha da colhedora e largura de plataforma efetivamente utilizada.

Observou-se uma grande amplitude nos valores de produtividade, sobretudo antes do processo de filtragem, que foi eficaz em remover valores discrepantes. O percentual de valores removidos foi variável para cada cultura e ano avaliado, oscilando entre 1,27% e 5,58% de remoção, ambos na cultura da soja. A menor oscilação no percentual de dados removidos foi verificada na cultura do milho que ficou ao redor de 4% nas três safras avaliadas. O percentual de remoção médio foi de 3,9% reduzindo o valor total de pontos de 331.936 para 318.980.

De maneira geral, a média de produtividade dos dados com e sem filtragem não sofreu muita alteração, no entanto, as maiores modificações foram observadas na amplitude dos valores, ou seja, no valor máximo e mínimo de cada conjunto o que refletiu em uma redução do CV (Tabela 2).

Tabela 2 - Estatística descritiva dos dados de produtividade antes e após a filtragem.

Área	Evento	----- Dados Brutos (kg . ha ⁻¹)-----						Dados Removidos (%)
		n ¹	Mín.	Máx.	Média	DP ²	CV% ³	
1	Soja 2010	13105	347,40	10319,00	3684,09	980,58	26,62	-
	Milho 2011	25457	639,40	25620,00	11217,34	2928,86	26,11	-
	Trigo 2011	22576	337,54	19222,90	3662,00	879,94	23,39	-
	Soja 2013	21838	348,80	14013,90	3953,43	1195,13	30,23	-
2	Soja 2009	14189	338,10	12252,50	3311,79	930,78	28,11	-
	Soja 2011	16247	360,20	13274,00	4610,51	944,86	20,49	-
	Trigo 2012	23502	336,63	20149,14	3288,74	1555,65	47,30	-
	Soja 2013	21546	338,80	12535,90	3650,18	851,79	23,34	-
3	Milho 2009	38148	639,00	26397,6	6376,34	2841,90	44,57	-
	Soja 2010	19809	349,10	5998,80	3679,95	915,75	24,88	-
	Aveia 2010	31949	180,10	7156,60	2696,93	954,00	35,37	-
	Milho 2013	39486	654,80	26645,90	8540,00	2125,58	24,89	-
4	Soja 2010	8213	346,80	11540,60	3132,52	1039,61	33,19	-
	Trigo 2010	15100	393,30	20120,50	3368,71	1537,18	45,63	-
	Soja 2011	8659	487,80	13180,90	4182,92	1009,57	24,14	-
	Soja 2013	12172	337,80	11056,10	2382,08	981,66	41,21	-
----- - Dados Filtrados(kg . ha ⁻¹) - -----								
1	Soja 2010	12418	1656,80	5695,20	3678,20	752,72	20,46	5,24
	Milho 2011	24397	4484,80	17738,50	11129,63	2343,72	21,06	4,16
	Trigo 2011	22199	1566,83	5920,98	3756,70	762,67	20,30	1,67
	Soja 2013	20661	1428,40	6412,00	3922,62	893,59	22,78	5,39
2	Soja 2009	13397	1433,50	5218,50	3343,15	685,94	20,52	5,58
	Soja 2011	15564	2525,10	6587,50	4554,67	724,13	15,9	4,20
	Trigo 2012	22302	510,74	5770,68	3042,97	929,41	30,54	5,10
	Soja 2013	20802	1709,30	5508,80	3604,42	680,92	18,89	3,45
3	Milho 2009	36604	1200,40	12487,50	6136,40	2224,2	36,25	4,05
	Soja 2010	19557	1389,40	5998,80	3711,79	877,22	23,63	1,27
	Aveia 2010	31015	433,60	4932,50	2666,04	840,92	31,54	2,92
	Milho 2013	37820	3818,10	13174,90	8510,22	1683,4	19,78	4,22
4	Soja 2010	7966	701,60	5514,90	3102,23	897,56	28,93	3,01
	Trigo 2010	14285	600,40	6061,00	3204,95	1055,20	32,92	5,40
	Soja 2011	8247	2096,70	6207,70	4146,36	746,50	18,02	4,76
	Soja 2013	11746	700,70	4717,70	2333,58	828,88	35,52	3,50

¹Número de pontos; ² Desvio Padrão; ³ Coeficiente de Variação.

Após filtrados e removidos os valores inconsistentes, realizou-se a sobreposição da malha quadricular (20 x 20 m) sobre as áreas para compor a média de produtividade de cada quadricula (Tabela 3). O número de pontos utilizados para compor a média de cada quadricula foi variável de acordo com a densidade de coleta da colhedora, em média, o mínimo foi de 21

(Soja 2010 - Área 1) e máximo de 47 pontos (Trigo 2010 - Área 4). A divisão da produtividade em quadriculas diminuiu consideravelmente a amplitude e o coeficiente de variação dos dados, diluindo as variações abruptas de produtividade e gerando um valor médio mais seguro pela quantidade de informações nele contidas.

Tabela 3 - Estatística descritiva dos dados de produtividade utilizados no estudo.

Área	Evento	n ¹	Mín.	Máx.	Média	DP ²	CV% ³	Cs ⁴	CK ⁵	W ⁶
1	Soja 2010	589	2765,38	4553,03	3690,74	279,19	7,56	-0,57	0,27	0,97*
	Milho 2011	589	8435,52	13696,62	11127,43	741,47	6,66	-0,33	0,40	0,99*
	Trigo 2011	589	2290,78	5056,11	3729,00	427,36	11,46	-0,14	0,18	0,99 ^{ns}
	Soja 2013	589	2947,12	4761,09	3936,42	323,12	8,21	-0,28	0,12	0,99*
2	Soja 2009	607	2264,09	4104,94	3359,68	334,61	9,96	-0,40	0,02	0,98*
	Soja 2011	607	3634,78	5116,15	4549,92	204,46	4,49	-0,55	1,02	0,98*
	Trigo 2012	607	1695,64	4741,11	3023,77	493,33	16,31	-0,06	-0,32	0,99*
	Soja 2013	607	2450,26	4307,57	3621,55	261,97	7,23	-0,73	1,56	0,97*
3	Milho 2009	853	2967,06	10430,90	6201,66	1273,42	20,53	0,04	-0,13	0,99 ^{ns}
	Soja 2010	853	2300,00	5373,52	3732,96	452,31	12,12	-0,90	0,78	0,94*
	Aveia 2010	853	937,10	3680,11	2699,35	461,05	17,08	0,17	0,57	0,99*
	Milho 2013	853	5708,37	10323,59	8534,82	681,77	7,99	-0,66	0,84	0,97*
4	Soja 2010	305	867,67	3997,80	3080,36	486,80	15,80	-0,89	1,55	0,95*
	Trigo 2010	305	2099,94	4827,09	3214,08	418,12	13,01	0,24	0,41	0,99 ^{ns}
	Soja 2011	305	3211,66	4826,90	4138,18	244,05	5,89	-0,40	0,51	0,98*
	Soja 2013	305	1343,39	3530,81	2322,47	500,02	21,53	0,19	-0,90	0,97*

¹Número de pontos; ²Desvio padrão; ³Coefficiente de Variação; ⁴Coefficiente de assimetria; ⁵Coefficiente de curtose; ⁶Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde: (*) significativo em níveis de $p < 0,05$ e (ns) não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

O coeficiente de assimetria (Cs) indica o grau de distorção da distribuição em relação a uma distribuição simétrica, podendo ser classificado em simétrica (Cs = 0), assimétrica positiva (Cs > 0) ou assimétrica negativa (Cs < 0). Verificou-se que a maior parte dos dados de produtividade apresentou distribuição assimétrica negativa o que indica que a cauda da distribuição está à esquerda, ou seja, a ocorrência de dados elevados de produtividade foi alta, no entanto, com patamar bem definido, ao contrário de baixas produtividades que tiveram maior oscilação (Tabela 3).

O coeficiente de curtose (Ck) indica o pico ou achatamento da curva de distribuição de probabilidade, tendo como referência a curva normal, onde valores positivos indicam distribuição leptocúrtica (caudas pesadas) e negativos indicam curva platicúrtica (curva mais achatada) e, quanto mais próximo de zero, maior a similaridade com a distribuição de probabilidade normal. De maneira geral, os dados apresentaram distribuição leptocúrtica

(Tabela 3) indicando que é relativamente fácil encontrar valores que se afastam da média a vários múltiplos do desvio padrão.

O coeficiente de curtose dos dados de produtividade parece ter características bem definidas em locais com e sem manejo químico localizado. Milani et al. (2006) e Suszek et al. (2011), observaram tendência à redução destes coeficientes em lavouras de soja com adubação localizada. Isto indica que a correção de fertilidade utilizando técnicas de AP reflete principalmente reduzindo os valores extremamente baixos de produtividade, que é um dos princípios da AP.

O teste W (Shapiro-Wilk) de normalidade indicou ausência de tendência à distribuição normal, sobretudo na cultura da soja (Tabela 3). Esta condição também foi verificada por outros autores na cultura da soja (MILANI et al., 2006; SUSZEK et al., 2011) e milho (SANTOS et al., 2006b). A não normalidade dos dados é frequente em estudos que levam em consideração a posição geográfica e a dependência espacial dos dados (SANTI et al., 2012), além disso, Warrick e Nielsen (1980) salientam que se tratando de dados obtidos na natureza, o ajuste a uma distribuição teórica é apenas aproximado.

Através da análise da correlação de Spearman, observou-se que as áreas 3 e 4 demonstraram melhores correlações (Tabela 4). Estes resultados podem estar ligados ao fato de as áreas 1 e 2 terem apresentado menores CV (Tabela 3), ou seja, são locais mais homogêneos do ponto de vista produtivo. Nestes casos, pequenas variações podem alterar significativamente o valor da correlação, pois testes não paramétricos utilizam postos e não os dados de produtividade em si (PASSARI et al., 2011).

Tabela 4 - Matriz de correlação de Spearman entre pontos de produtividade de quatro áreas.

----- Área 1 -----				----- Área 2 -----			
	Soja 2010	Milho 2011	Trigo 2011		Soja 2009	Soja 2011	Trigo 2011
Milho 2011	0,02	1		Soja 2011	0,16*	1	
Trigo 2011	-0,15*	-0,08*	1	Trigo 2011	0,03	0,09*	1
Soja 2013	0,05	-0,05	0,15*	Soja 2013	0,02	0,11*	0,26
----- Área 3 -----				----- Área 4 -----			
	Milho 2009	Soja 2010	Aveia 2010		Soja 2010	Trigo 2010	Soja 2011
Soja 2010	0,12*	1		Trigo 2010	0,09	1	
Aveia 2010	0,13*	0,36*	1	Soja 2011	0,28*	0,26*	1
Milho 2013	0,22*	0,28*	0,28*	Soja 2013	0,46*	0,25*	0,36*

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

A visualização da variabilidade produtiva das culturas na área 1 e 2 (Figura 3 e 4), evidencía os resultados da análise de correlação, em que não foi possível observar uma tendência produtiva bem definida. Cabe salientar que estas áreas apresentaram CV% médio

abaixo de 10% (Tabela 3). Como a estrutura de legendas utiliza a divisão dos dados em três classes com o mesmo número de pontos, a variabilidade é forçada a ocorrer mesmo onde ela é pequena, gerando mapas com informações não muito claras. Da mesma maneira, Milani et al. (2006), analisando cinco mapas de produtividade de soja em duas áreas experimentais, observaram poucas semelhanças visuais entre os mesmos, com ocorrência de similaridades em alguns pontos isolados ao longo de cinco anos, porém sem consistência, confirmando a variabilidade temporal da produtividade. Cabe ressaltar que estes autores utilizaram áreas menores que um hectare, que tendem ser mais homogêneas quanto a fatores persistentes de solo, como textura, tipo de solo, entre outros, limitando os resultados a fatores sazonais.

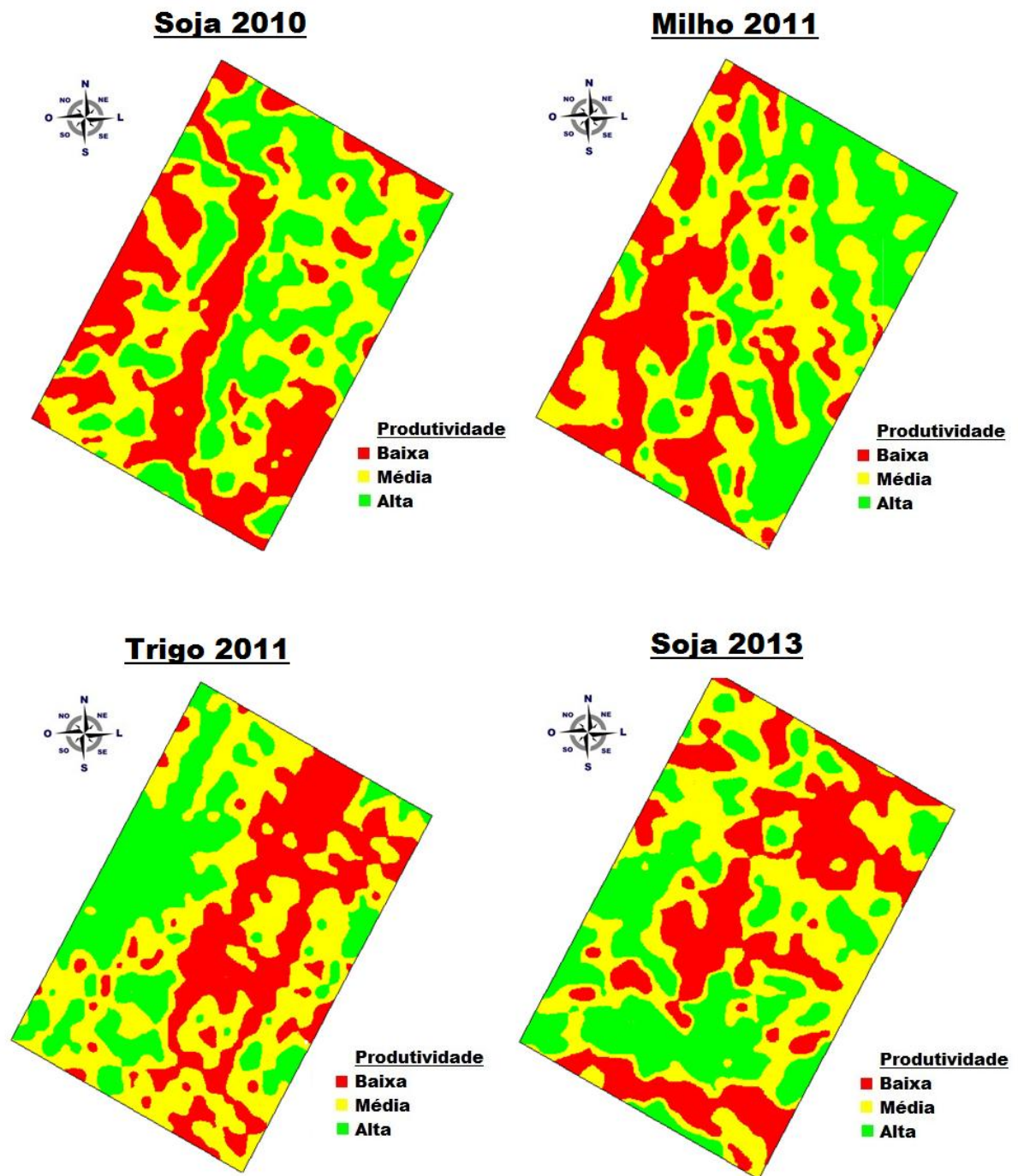


Figura 3 - Espacialização da produtividade de quatro safras na área 1.

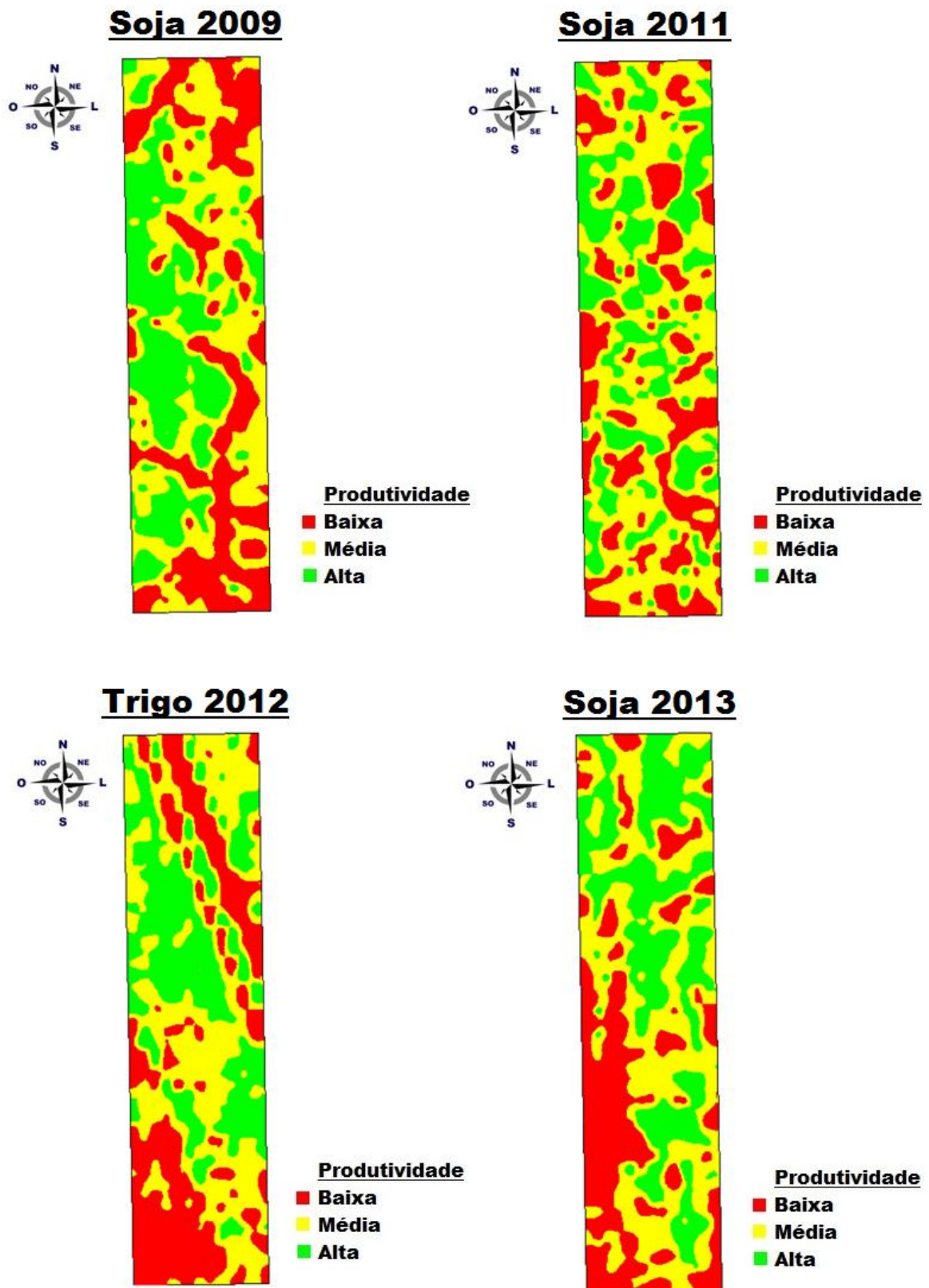


Figura 4 - Espacialização da produtividade de quatro safras na área 2.

A espacialização da produtividade nas áreas 3 e 4 (Figura 5 e 6), demonstra algumas tendências produtivas, sendo mais claras na definição de zonas de baixa produtividade na

porção sudeste da área 3 e manchas centrais na área 4. A similaridade entre todos os mapas produtivos parece não ser regra, segundo Meurer (2007), mais de uma centena de fatores contribuem para a definição da produtividade dos vegetais, desta forma, em cada ano um fator diferente pode agir como limitante. Considerando a área de cada talhão e o número de células de produtividade no seu interior (Figura 2), percebe-se que pequenas manchas correspondem a uma área considerável, podendo estar refletindo a microvariabilidade imposta por fatores sazonais como ataque de doenças ou de pragas, como as lagartas desfolhadoras da soja, que não se distribuem homogêaneamente na área (RIFFEL et al., 2012).

Santi et al. (2013), ao analisarem dados de produtividade de duas lavouras comerciais com 57 e 132 hectares, observaram diferenciação de zonas estáveis de distinta capacidade produtiva com o uso de pelo menos três mapas de produtividade sequenciais com a utilização de mais de uma cultura. Dentre as quatro áreas avaliadas neste estudo, as áreas 3 e 4 mostravam-se mais heterogêneas em relação a área 1 e 2 por possuírem um declive acentuado em alguns pontos do terreno. Desta maneira, a distinção parece ser mais clara de observar em áreas com maior heterogeneidade produtiva e de fatores visuais.

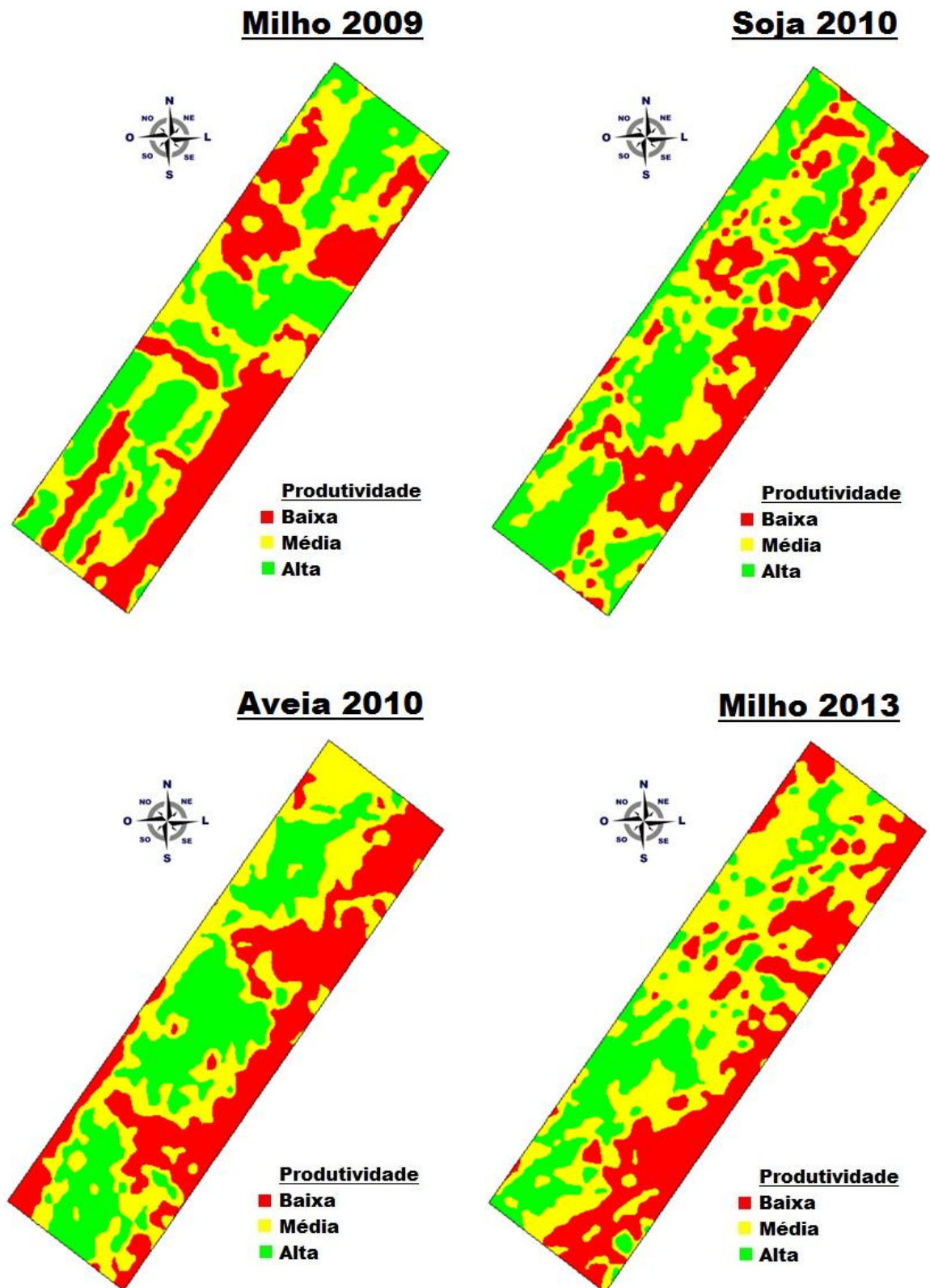


Figura 5 - Espacialização da produtividade de quatro safras na área 3.

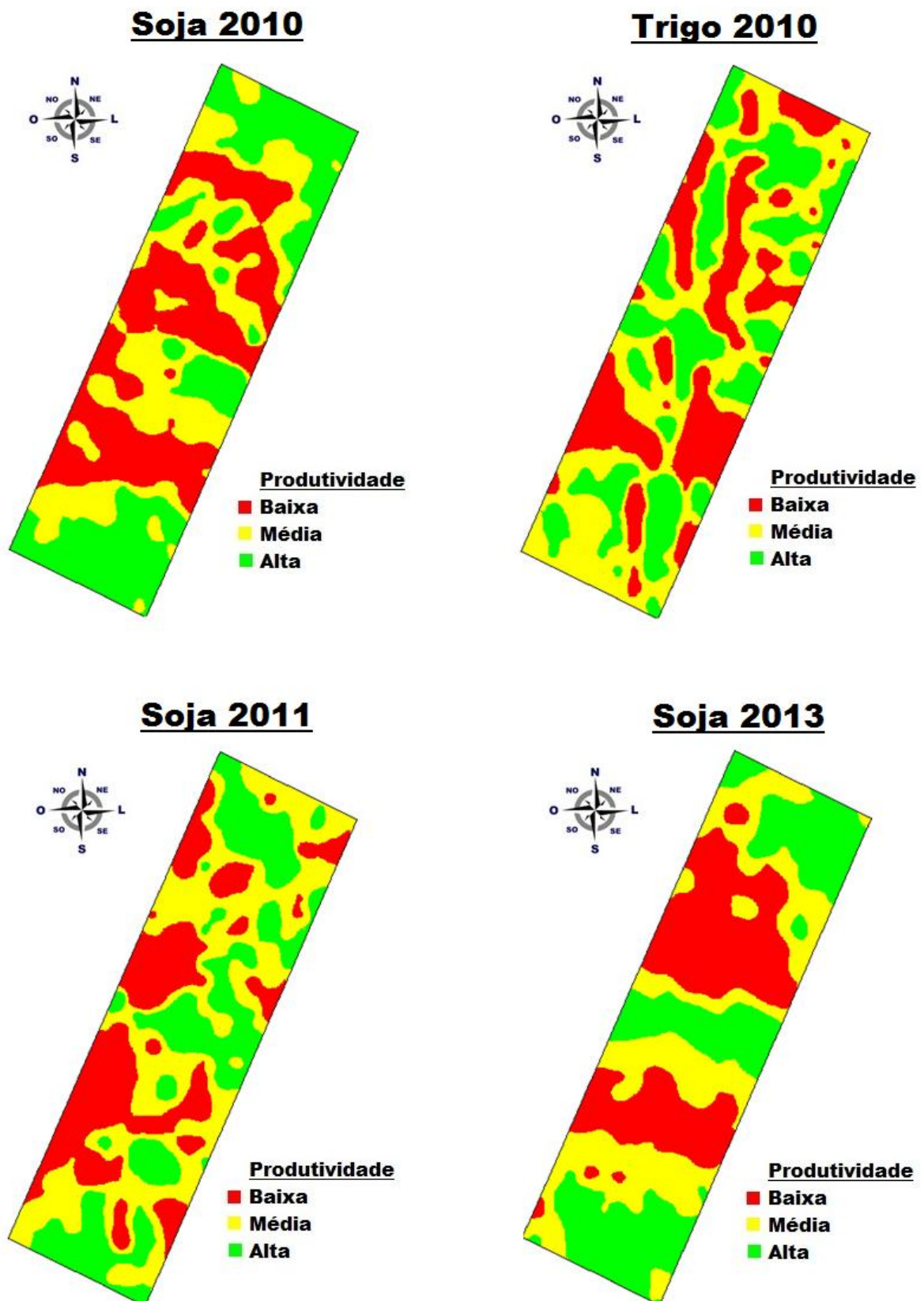


Figura 6 - Espacialização da produtividade de quatro safras na área 4.

A união dos dados de produtividade padronizados em um só mapa, permitiu tornar mais evidente a diferenciação das zonas estáveis (Figura 7 e 8). Um histórico de mapas de produtividade permite tornar mais claro os locais da lavoura que sofrem limitação de fatores persistentes, ou seja, a variabilidade sazonal (no ano) de produtividade é diluída em um mapa de tendências que permite investigar in loco os agentes limitantes. Desta forma, quanto maior for o número de safras monitoradas, melhor e mais fácil se torna a definição de unidades de manejo (MOLIN, 2002).

A exemplo dos coeficientes de correlação de Spearman, que apresentaram melhores valores nas áreas 3 e 4, a distinção visual de zonas com diferentes potenciais produtivos foi mais clara nestes locais, indicando a ação de um fator limitante ao longo do tempo. Guedes Filho (2008), monitorando 23 safras de culturas de grãos alternadas, em uma área de 3,42 hectares, observou grande oscilação nos valores de produtividade das culturas ao longo dos anos, sobretudo em anos de déficit hídrico, considerando ser difícil estabelecer zonas de manejo específico para a área, atribuindo esta dificuldade ao tamanho pequeno da área experimental, às flutuações pluviométricas e em parte a fatores que mudaram ao longo do tempo de uma cultura para outra, como doenças, pragas e incidência de plantas daninhas. Apesar disso, o autor relata que a seleção de mapas específicos de produtividade, proporcionou a diferenciação de uma zona estável de alta produtividade com o uso de cinco mapas sequenciais.

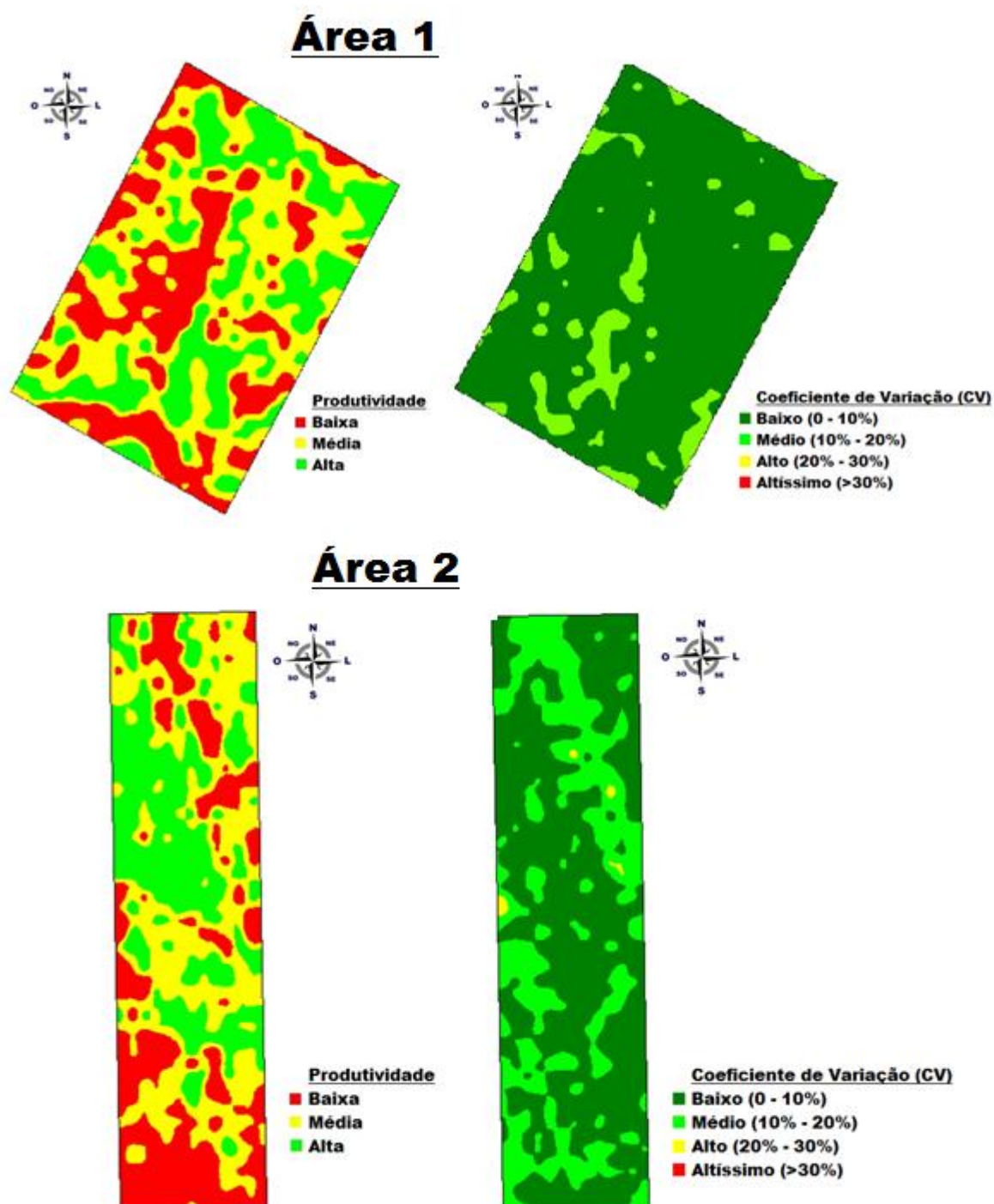


Figura 7 - Espacialização da produtividade média de quatro safras e do coeficiente de variação entre os dados nas áreas 1 e 2.

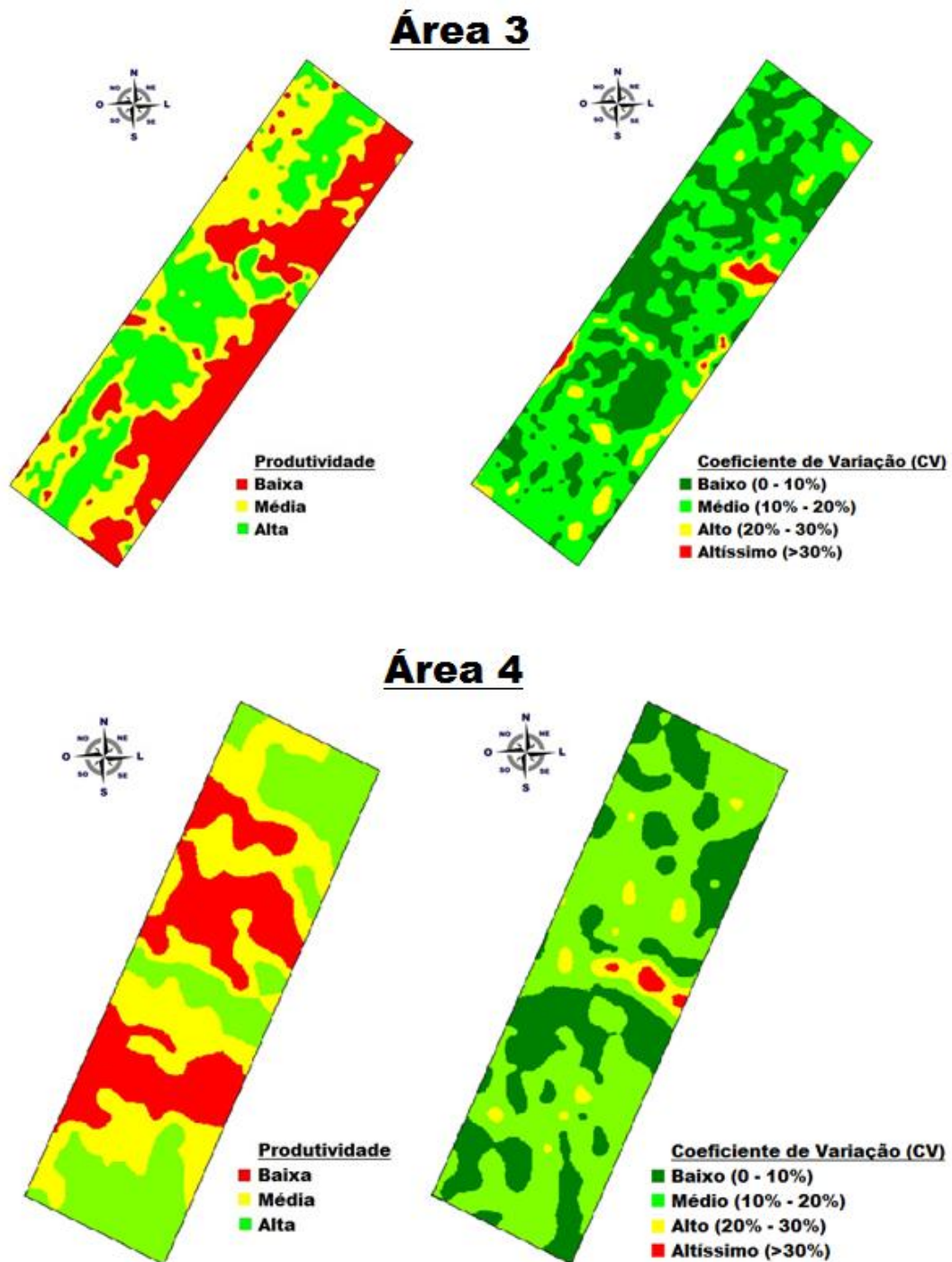


Figura 8 - Espacialização da produtividade média de quatro safras e do coeficiente de variação entre os dados nas áreas 3 e 4.

Com análise visual dos mapas, auxiliada pela estatística descritiva dos dados, observou-se uma melhor diferenciação de locais com distintos potenciais produtivos nas áreas em que se verificou um maior coeficiente de variação dos dados. Desta forma, apesar de não ocorrer com uma estrutura bem definida ao longo dos anos, a variabilidade produtiva é essencial para elencar com clareza a distinção de zonas produtivas estáveis. Observando os

mapas de distribuição dos coeficientes de variação das áreas 1 e 2 (Figura 7), percebe-se que a maior parte dos dados apresenta coeficientes baixos (<10%), enquanto que na área 3 e 4 (Figura 8) esta situação muda com o aumento dos coeficientes para médios (10% - 20 %) na maior parte da área.

3.6 Conclusões

1. A definição de unidades de estabilidade produtiva de grãos é facilitada em lavouras que apresentam alta variabilidade na produtividade;
2. A metodologia mostrou-se eficiente em caracterizar a estabilidade produtiva em áreas de produtividade heterogênea.

3.7 Agradecimentos

Ao Grupo Schaedler, proprietários da Fazenda Vila Morena, pela disponibilização da área de estudo e apoio na execução da pesquisa.

3.8 Referências Bibliográficas

BLACKMOORE, S.; MOORE, M. Remedial Correction of Yield Map Data. **Precision Agriculture**, v. 1, 53-66, 1999.

BLACKMORE, S.; GODWIN, R. J.; FOUNTAS, S. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. **Biosystems Engineering**, v. 84, n. 4, p. 455- 466, 2003.

CARVALHO, J. R. P; VIEIRA, S. R.; MORAN, R. C. C. P. **Como avaliar a similaridade entre mapas de produtividade**. 1 ed. Campinas: Relatório técnico/ Embrapa informática agropecuária, 2001. 24p.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

GIOTTO, E.; ROBAINA, A. D. **A agricultura de precisão com o CR Campeiro 7**. Manual do usuário. Santa Maria: UFSM/Centro de Ciências Rurais/Departamento de Engenharia Rural/Laboratório de Geomática, 2007, 319p.

GUEDES FILHO, O. **Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos do solo em um sistema de semeadura direta**. 2009. 97p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2009.

KASPAR, T. C.; COLVIN, T. S.; JAYNES, D. B.; KARLEN, D. L.; JAMES, D. E.; MEEK, D. W.; PULIDO, D.; BUTLER, H. Relationship between six years of corn yields and terrain attributes. **Precision Agriculture**, v. 4, p. 87 - 101, 2003.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.8, p.141-150, 2000.

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P. Metodologia para identificação e caracterização de erros em mapas de produtividade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 367-374, 2003.

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P. Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, p.126-134, 2004.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F; ALVAREZ V., V. H; BARROS, N. F; CANTARUTTI, R. B (Eds). **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Viçosa – MG, p.66-90, 2007.

MILANI, L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A; PEREIRA, J. O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 591-598, 2006.

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

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

MOORE, M. **An Investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management**. 1998. 379 p. (Ph. D. Thesis) Department of Agriculture and Biosystems Engineering. Cranfield University. Silsoe - UK, 1998.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

RIFFEL, C. T. ; GARCIA, M. S. ; SANTI, A. L. ; BASSO, C. J. ; DELLA FLORA, L. P.; CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T. Densidade amostral aplicada ao monitoramento georreferenciado de lagartas desfolhadoras na cultura da soja. **Ciência Rural**, v. 42, p. 2112-2119, 2012.

SANTI, A. L.; FIORIN, J. E.; COCCO, K. L. T.; CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; AMADO, T. J. C.; HAUSCHILD, F. E. G. Distribuição horizontal e vertical de fósforo e potássio em área manejada com ferramentas de Agricultura de Precisão. **Revista Plantio Direto**, v.109, p.18-25, 2012.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; EITELWEIN, M. T.; CHERUBIN, M. R.; SILVA, R. F.; DA ROS, C. O. Definição de zonas de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão. **Agrária**, 2013 (in press).

SANTOS, A. O.; MAZIERO, J. V. G.; CAVALLI, A. C.; VALERIANO, M. M.; OLIVEIRA, H.; MORAES, J. F. L; YANAI, K. Monitoramento localizado da produtividade de milho cultivado sob irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 1, p. 88-95, 2001.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006b. 306p.

SANTOS, M. L.; CARVALHO, M. P.; RAPASSI, R. M. A.; MURAIISHI, C. T.; MALLER, A.; MATOS, F. A. Correlação linear e especial entre a produtividade de milho (*Zea mays* L.) e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto do Cerrado Brasileiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.28, p.313-321, 2006a.

SAS INSTITUTE - Statistical Analysis System. **SAS/STAT User's Guide 8.0**. North Caroline-NC: SAS Institute Inc., 1999. 3365p.

SUSZEK, G. ; SOUZA, E. G. ; URIBE-OPAZO, M. A. ; NOBREGA, L. H. P. Determination of management zones from normalized and standardized equivalent productivity maps in the soybean culture. **Engenharia Agrícola**, v.31, p.895-905, 2011.

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

3.9 Apêndice

Apêndice A - Precipitação registrada na área de estudo entre os anos de 2009 e 2013.

Ano	Decêndio ⁽¹⁾	Mês											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2009	1	18	15	39	5	10	11	88	168	158	90	146	121
	2	53	55	43	0	206	65	140	93	203	82	184	18
	3	6	101	22	0	111	66	49	0	107	35	248	153
2010	1	59	58	0	0	26	13	53	22	47	51	7	54
	2	73	114	27	0	190	139	88	27	16	124	6	154
	3	43	12	84	199	22	0	50	0	255	61	39	63
2011	1	34	34	25	24	47	49	2	36	36	26	0	44
	2	25	22	2	73	15	50	283	75	24	76	88	0
	3	129	40	133	99	0	194	32	45	5	36	25	17
2012	1	3	24	88	25	0	127	81	0	22	215	20	37
	2	54	14	32	48	0	42	0	20	87	7	12	194
	3	34	71	34	34	10	14	131	8	3	191	40	40
2013	1	126	27	103	87	0							
	2	0	54	54	63	67							
	3	3	11	35	15	39							

⁽¹⁾ Decêndio 1: dia 1º ao dia 10; Decêndio 2: dia 11 a 20; Decêndio 3: dia 21 a 30 (31).

4 ARTIGO III

CORRELAÇÃO ENTRE ATRIBUTOS DO SOLO E A PRODUTIVIDADE DE SOJA E MILHO OBTIDA COM DIFERENTES RAIOS AMOSTRAIS

4.1 Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar a correlação entre atributos do solo e mapas de produtividade de soja e milho obtidos com diferentes raios amostrais. O experimento foi realizado em uma área de 36 hectares localizada no norte do RS. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, cultivado sob sistema de plantio direto. A área foi dividida por uma malha amostral quadricular de 50 x 50 m, gerando 130 pontos amostrais. As amostras de solo foram coletadas manualmente com trado calador em janeiro de 2012, utilizando 10 subamostras em um raio amostral de 10 metros do ponto central. Os dados de produtividade foram obtidos por uma colhedora equipada com sistema AFS[®] para monitoramento de colheita, nas safras de soja 2010, soja 2011 e milho 2013. Para compor a média produtiva da quadricula foram utilizados pontos de produtividade localizados no interior de um raio de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 metros do ponto central da quadricula. A relação entre as variáveis foi verificada pela matriz de correlação de Spearman. Os resultados demonstraram haver diminuição da amplitude e do coeficiente de variação dos dados, além de significativo aumento nos valores das correlações entre produtividade e atributos de solo, na medida em que se aumenta o raio amostral, atingindo valor máximo de correlação utilizando um raio de 30 metros. O teor de P no solo foi o principal limitante ao aumento da produtividade de grãos na área.

Palavras-chave: mapas de produtividade, correlação de Spearman, fósforo; raio amostral.

4.2 Abstract

The objective of this study was to evaluate the correlation between soil properties and yield maps soybean and corn obtained with different radius sample. The experiment was conducted in an area of 36 hectares located at northern RS. The soil is classified as Oxisol typical, under no-tillage system. The area was divided by a sampling grid quadricular 50 x 50 m, generating

130 sample points. Soil samples were collected by hand auger in January 2012, using 10 sub-samples in a radius of 10 meters from the central point. Productivity data were obtained by a harvester equipped with AFS[®] system for monitoring harvesting, soybean growing season in 2010, soybean in 2011 and corn in 2013. To compose the productive average of the grid points were used productivity located within a radius of 5, 10, 15, 20, 25 and 30 meters from the central point of the square. The relationship between variables was assessed by Spearman correlation matrix. The results demonstrated a reduction of amplitude and coefficient of variation data, and a significant increase in the values of correlation between productivity and soil attributes, as it increases the radius sample, reaching maximum correlation value using a radius of 30 meters. The P content in the soil was the main limiting the increase in grain yield in the area.

Keywords: Yield maps, Spearman correlation; phosphorus; radius sample.

4.3 Introdução

A agricultura de precisão (AP) trata-se de um gerenciamento agrícola que parte do registro georreferenciado de informações de solo e de culturas, complementando-se com intervenções de manejo localizado (AMADO e SANTI, 2007). As perspectivas de avanços tecnológicos além dos já alcançados, são muito promissoras, no entanto, o grande número de informações coletadas exigem avanços na interpretação dos dados, visando buscar práticas de manejo que aumentem a eficiência dos sistemas produtivos (NOGARA NETO et al., 2011).

Inicialmente a AP foi implementada com o propósito de manejo de nutrientes, fundamentada unicamente na amostragem de solo em malha (LUCHIARI JR. et al., 2011), visando principalmente corrigir as áreas e torná-las o mais homogênea possível do ponto de vista químico. As investigações da variabilidade química das propriedades do solo tem demonstrado que a estrutura espacial, ou a dependência espacial varia de acordo com cada atributo avaliado (AMADO et al., 2009; CHERUBIN et al., 2011; GONTIJO et al., 2012). Cherubin (2013), visando determinar a eficiência das malhas amostrais utilizadas para caracterizar atributos químicos em Latossolos no Rio Grande do Sul, demonstrou haver necessidade de redimensionar as malhas, sobretudo adensando as amostragens quando se busca caracterizar com confiabilidade a distribuição espacial de propriedades químicas do solo, visando o manejo em sítio-específico.

O mapeamento da produtividade com colhedoras automatizadas fornece uma coleta de dados altamente densa na lavoura, onde o número de informações pode variar de 500 a 1300

pontos por hectare, representando uma área de 8 a 25 m² (MOLIN, 2000). As informações de produtividade refletem o resultado de um ciclo de atividades que desenvolvidas buscando aumentar os patamares produtivos. Entretanto, Coelho (2003) destaca que apesar de determinar a variabilidade espacial da produção, os mapas de produtividade não explicam essa variabilidade. A integração dos dados de produtividade com atributos de solo, gerando um sistema em um sistema de causa e efeito, pode orientar e fornecer informações para aumentar a eficiência de adubações utilizando taxa variada.

Baixas correlações tem sido encontradas entre a produtividade das culturas e características químicas (YANAI et al., 2001; SANTOS et al., 2001; SOUZA et al., 2008; SOUZA, et al., 2010) e físicas (CARVALHO et al, 2006, SANTOS et al., 2006a, CERRI e MAGALHÃES, 2012) do solo, no entanto, baixos valores de coeficiente de correlação entre dois atributos quaisquer, não invalidam a hipótese de ocorrência de apreciável correlação espacial entre eles (KITAMURA et al., 2007). Segundo Rodrigues et al. (2012), as baixas correlações podem estar ligadas à estrutura espacial diferenciada dos atributos e da produtividade, sendo que quando a intensidade amostral dos atributos do solo é semelhante àquela da produtividade da cultura, observa-se correlação entre os padrões de distribuição espacial destas variáveis.

Diante destas situações, e da frequente ocorrência de dados não normais para atributos de solo e produtividade, Nogara Neto et al. (2011), sugerem o emprego de métodos estatísticos não paramétricos, ou seja, que não pressupõe distribuição normal nem relações lineares como o teste de correlação de Spearman para avaliar relações entre duas variáveis.

Nesse contexto, o objetivo do estudo foi avaliar a relação entre atributos químicos do solo e a produtividade temporal das culturas de soja e milho determinadas usando diferentes raios amostrais em uma área manejada com AP no sul do Brasil.

4.4 Material e Métodos

O estudo foi conduzido em uma área experimental localizada no município de Boa Vista das Missões - RS, situada entre as coordenadas geográficas 27°43'02" a 27°43'32" de latitude sul e, 53°19'52" a 53°20'25" de longitude oeste, apresentando formato retangular de 36 hectares (900 x 400 m) (Figura 1). O clima da região, segundo a classificação de Maluf (2000), é subtropical com primavera úmida (ST PU) com temperatura média anual de 18,1 °C e precipitação pluvial anual de 1.919 mm.

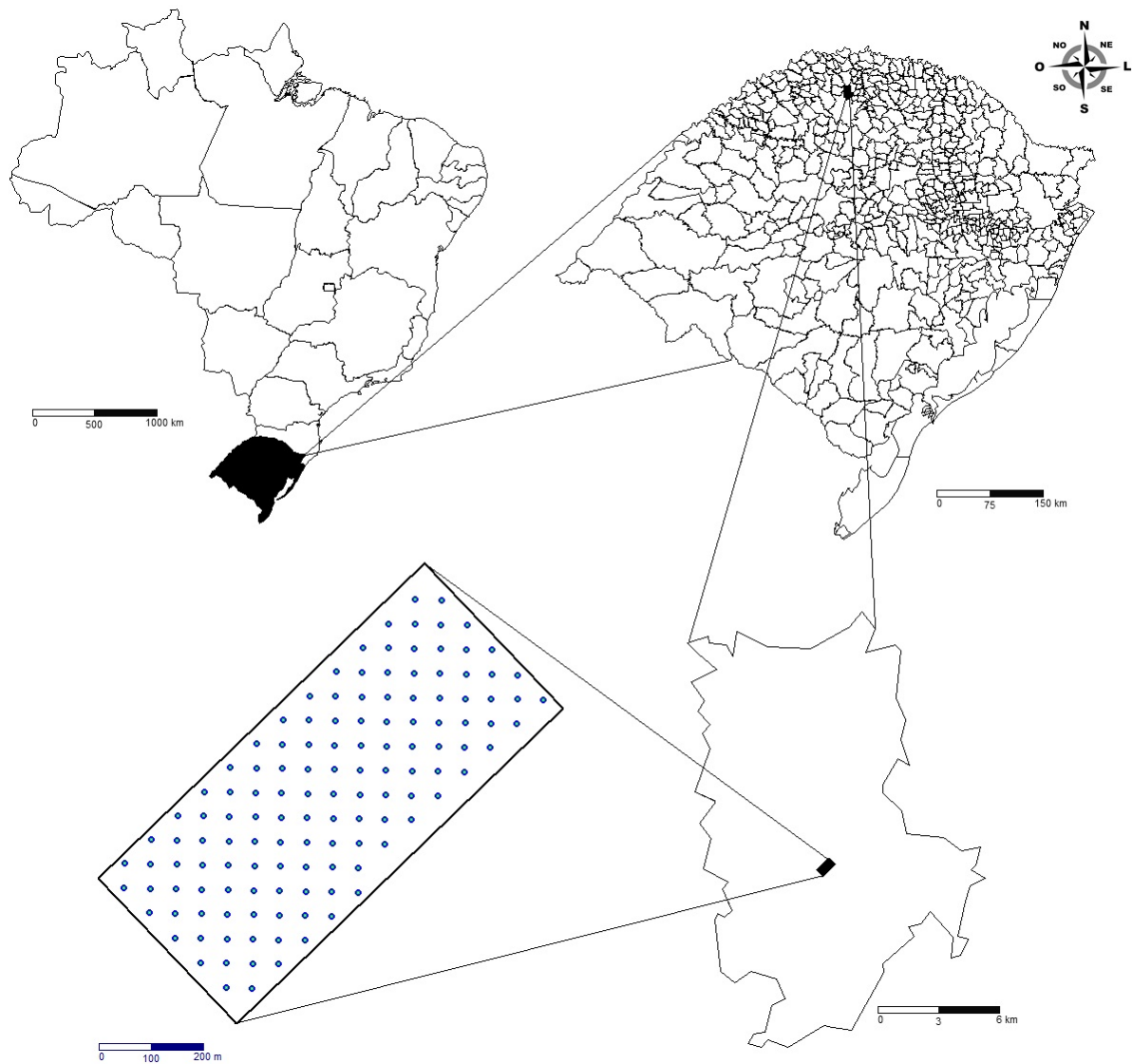


Figura 1 - Localização geográfica da área de estudo e dos pontos de amostragem de solo no município de Boa Vista das Missões - RS, Brasil.

O relevo da região é suave ondulado e o solo presente na área experimental, foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (SANTOS et al., 2006b), com textura muito argilosa. A área é manejada sob sistema de plantio direto (SPD) há mais de 15 anos, utilizando sucessão de culturas com soja e milho no verão e trigo, aveia e nabo forrageiro no inverno.

Os dados de produtividade de grãos foram obtidos em três safras agrícolas, sendo: soja 2010, soja 2011 e milho 2013. As informações foram coletadas por uma colhedora Case Axial-Flow 2399, equipada com o sistema AFS[®] (Advanced Farming System) para monitoramento de colheita. O fluxo de colheita é determinado por um sensor de placa de impacto instalado ao final do elevador de grãos limpos. Esta informação em conjunto com as

leituras do sensor de umidade determina o fluxo instantâneo de grãos secos, que associados com as leituras do sensor de velocidade e a largura da plataforma, determinam a produção por área. Esses dados são georreferenciados por sinal DGPS e armazenados pelo monitor de colheita instalado na cabine da colhedora (SHIRATSUCHI, 2004).

A densidade média de coleta dos pontos de produtividade por hectare foi de 594, 707 e 1148 pontos, para as safras de soja 2010, soja 2011 e milho 2013, respectivamente. A ocorrência de erros em dados de produtividade é comum (MENEGATTI e MOLIN, 2003), desta forma, os dados foram filtrados pela metodologia proposta por Menegatti e Molin (2004).

A adubação das culturas avaliadas no estudo foi realizada com taxa fixa de fertilizantes utilizando as seguintes doses: (1) Soja 2010: 340 kg ha⁻¹ da fórmula 2-25-15 aplicados na linha de semeadura; (2) Soja 2011: 160 kg ha⁻¹ de MAP (fosfato monoamônico) aplicado na linha de semeadura + 120 kg ha⁻¹ de SFT (superfosfato triplo) aplicado a lanço + 100 kg ha⁻¹ de KCl (cloreto de potássio) aplicado em cobertura a lanço; (3) Milho 2013: 150 kg ha⁻¹ de DAP (fosfato diamônico) aplicado na linha de semeadura + 200 kg ha⁻¹ de ureia parcelada em duas aplicações em cobertura. O histórico de adubações e correções do solo são apresentados no Apêndice A.

Para a caracterização da produtividade e dos atributos químicos do solo, a área foi dividida utilizando uma malha amostral quadricular de 50 x 50 m, gerando 130 pontos amostrais. A produtividade de cada ponto foi determinada utilizando seis raios amostrais diferentes, ou seja, calculou-se a média dos pontos de produtividades que se encontravam no interior de cada raio amostral (Figura 2). As malhas amostrais e as médias dos pontos foram geradas através do programa CR - Campeiro 7 (GIOTTO e ROBAINA, 2007).

A coleta de solo foi realizada manualmente com trado calador em janeiro de 2012. Cada amostra foi composta por 10 subamostras, coletadas em um raio de 10 m do ponto central da quadricula, na camada de 0 - 0,1 m, recomendada pela CQFS-RS/SC (2004) em áreas de SPD consolidado. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Federal de Santa Maria *campus* Frederico Westphalen e analisadas conforme metodologias descritas por Tedesco et al. (1995) e recomendadas pela CQFS-RS/SC (2004).

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, visando verificar a posição e dispersão dos mesmos, através do programa *Statistical Analysis System* – SAS 8.0 (SAS INSTITUTE, 1999). Os parâmetros estatísticos determinados foram: mínimo, máximo, média, desvio padrão (DP), coeficientes de variação (CV%), de assimetria (Cs) e de curtose (Ck).

Complementar a estatística descritiva realizou-se o Teste W ($p < 0,05$), para verificar a existência de tendência central dos dados (normalidade), sendo considerados como distribuição de probabilidade normal os dados que apresentaram p -valor $> 0,05$, ou seja, valor não significativo ao nível de 5% de significância.

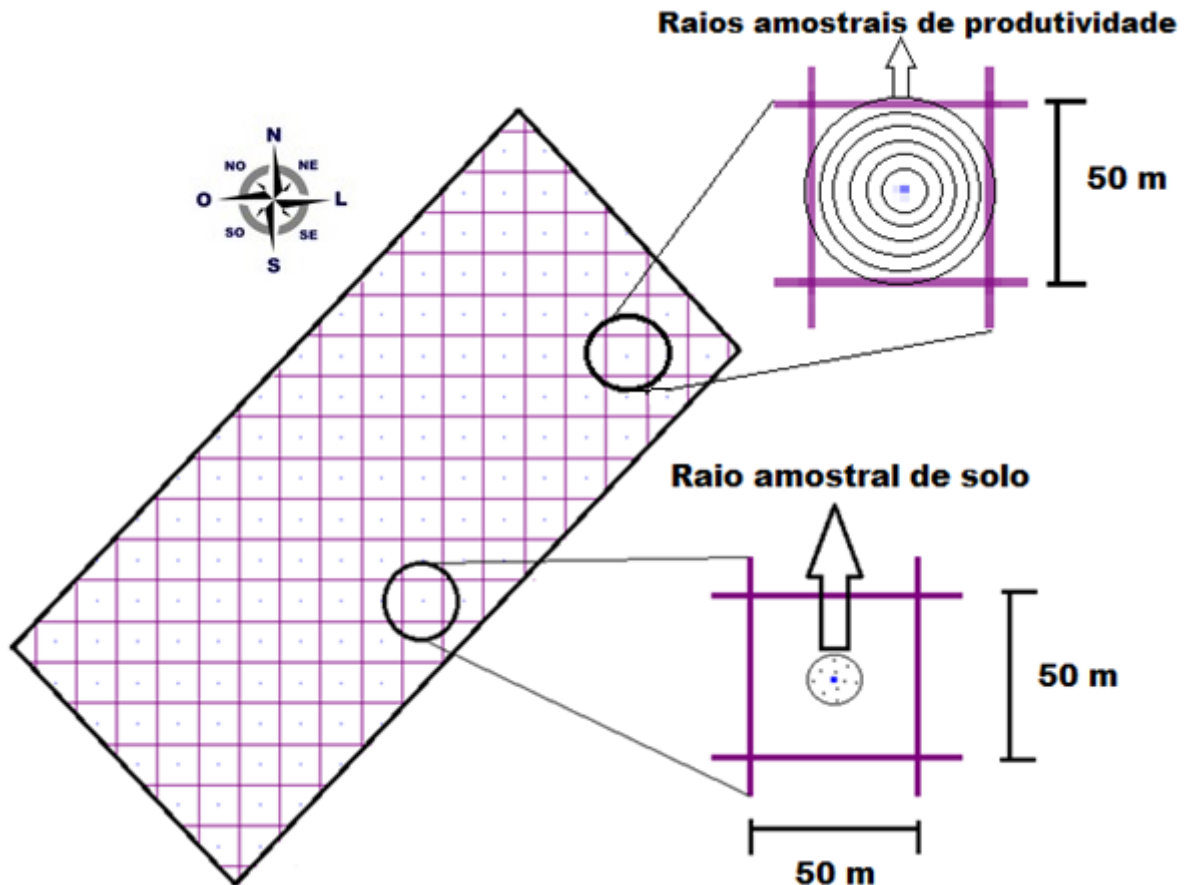


Figura 2 - Esquema de divisão da área em grade regular de 50 x 50 m (130 pontos), ilustrando os raios de amostragem de solo (10 m) e produtividade (5, 10, 15, 20, 25 e 30 m) em função da posição central de cada quadricula.

Através do teste de normalidade verificou-se que a maior parte dos dados não apresentou distribuição normal, sendo comuns neste tipo de estudo (MILANI et al., 2006; AMADO et al., 2009). Em virtude destes resultados, a análise de correlação foi realizada por meio do teste do coeficiente de correlação de Spearman, análogo ao coeficiente de correlação de Pearson (PASSARI, et al., 2011). Este método não paramétrico não pressupõe distribuição normal nem relações lineares, sendo mais adequado em situações onde se busca encontrar relações entre fatores de solo e produtividade (NOGARA NETO et al., 2011).

Para a construção dos mapas temáticos, foram utilizados os métodos de interpolação por krigagem através do software CR - Campeiro7 (GIOTTO e ROBAINA, 2007). As

legendas dos mapas foram determinadas de acordo com a metodologia utilizada por Milani et al. (2006), ordenando os dados em ordem crescente e dividindo em três classes iguais, ou seja, menor que o 33º percentil, maior ou igual ao 33º percentil e menor que o 67º percentil e maior que o 67º percentil.

4.5 Resultados e Discussão

Os resultados da análise estatística descritiva dos dados do solo demonstraram haver teores elevados de argila na área, apresentando concentração média de 69,75% (Tabela 1). Textura argilosa é uma característica pedogenética dos Latossolos presentes na região de estudo (STRECK et al., 2008) e já foram reportados anteriormente por Amado et al., 2009; Cherubin et al., 2011 e Santi et al., 2012a. Os atributos químicos, de maneira geral, mostraram-se variáveis e com distribuições assimétricas na área. Tendência de distribuição normal foram verificadas pelo teste W (Shapiro-Wilk) somente para os teores de argila, K, Ca, Mg e saturação por bases, resultados similares foram verificados em outras pesquisas (SILVA et al., 2003; MONTOMIYA et al., 2011). A não normalidade dos dados é frequente em estudos que levam em consideração a posição geográfica e a dependência espacial dos dados (SANTI et al., 2012b).

Entre os atributos avaliados, o pH apresentou o menor CV (3,06 %) (Tabela 1). Este resultado também foi encontrado por outros autores trabalhando com AP (CORÁ et al., 2004; GOMES, et al., 2008; SILVA et al., 2008; AMADO et al., 2009; SANTI et al., 2012a; CHERUBIN, 2013). No entanto, Coelho (2003) alerta que o pH é medido em escala logarítmica e seu CV não pode ser comparado com os valores de CV apresentados pelos outros atributos. O valor médio de pH foi de 5,45, classificado como baixo pelos critérios da CQFS-RS/SC (2004), sendo comum em condições naturais a ocorrência de acentuada acidez, baixa disponibilidade de nutrientes e toxidez por alumínio (STRECK et al., 2008).

Os teores de P na maior parte da área ficaram acima dos limites críticos preconizados pela CQFS-RS/SC (2004) que é de 6 mg dm⁻³ em solos com mais de 60 g kg⁻¹ de argila, no entanto, a classificação preconiza uma produtividade média de 2 Mg ha⁻¹ de soja e 4 Mg ha⁻¹ de milho, valores muito abaixo das médias produtivas observadas na área, que foram de aproximadamente 3,63, 4,98 e 8,24 Mg ha⁻¹ nas safras de soja 2010, soja 2011 e milho 2013, respectivamente (Tabela 1). Segundo Schlindwein e Gianello (2008), a mudança na profundidade de amostragem de acordo com o sistema de preparo do solo (plantio direto e convencional) e o aumento do rendimento das culturas, ao longo do tempo podem alterar os

teores críticos de P, as faixas de fertilidade e as quantidades recomendadas de fertilizante para as culturas.

Tabela 1 - Estatística descritiva dos atributos do solo e da produtividade de soja (2010 e 2011) e milho (2013) de acordo com o raio amostral utilizado para caracterizar os pontos.

	Raio (m)	n	Mín.	Máx.	Média	DP ¹	CV% ²	Cs ³	Ck ⁴	Teste W ⁵
Argila (g kg ⁻¹)	10	130	50,00	83,00	69,75	6,57	9,41	-0,17	-0,17	0,98 ^{ns}
pH _{água}	10	130	4,99	6,03	5,45	0,16	3,06	-0,12	1,29	0,97*
Al (cmol dm ⁻³)	10	130	0,01	1,30	0,09	0,15	160,05	4,76	34,47	0,54*
P (mg dm ⁻³)	10	130	5,50	54,88	23,78	8,25	34,70	0,83	1,56	0,96*
K (mg dm ⁻³)	10	130	165,00	345,00	234,77	32,69	13,92	0,38	0,19	0,98 ^{ns}
Ca (cmol dm ⁻³)	10	130	1,10	4,10	2,70	0,57	21,01	0,01	-0,16	0,99 ^{ns}
Mg (cmol dm ⁻³)	10	130	1,10	3,80	2,20	0,58	26,18	0,34	-0,32	0,98 ^{ns}
MO (g kg ⁻¹)	10	130	3,05	4,62	3,60	0,30	8,30	0,61	0,50	0,97*
CTC _{pH7} (cmol dm ⁻³)	10	130	9,32	14,43	11,14	0,91	8,20	0,68	1,31	0,96*
Sat. por Al (%)	10	130	0,01	20,92	1,58	2,57	162,77	3,88	24,51	0,61*
Sat. por Bases (%)	10	130	35,04	64,98	49,58	5,17	10,43	0,39	0,54	0,98 ^{ns}
----- Dados de Produtividade (kg . ha ⁻¹) -----										
Soja 2010	5	130	1593	5284	3663	664,83	18,15	-0,29	0,54	0,98 ^{ns}
Soja 2010	10	130	1702	5290	3663	482,45	13,17	-0,01	2,28	0,97*
Soja 2010	15	130	2480	4954	3638	398,36	10,95	0,28	0,89	0,98 ^{ns}
Soja 2010	20	130	2750	4912	3623	354,54	9,78	0,53	1,07	0,98 ^{ns}
Soja 2010	25	130	2861	4712	3621	322,55	8,91	0,44	0,61	0,98 ^{ns}
Soja 2010	30	130	2904	4530	3623	293,58	8,10	0,34	0,38	0,98 ^{ns}
Soja 2011	5	130	2957	6534	4915	632,21	12,86	-0,34	0,45	0,98 ^{ns}
Soja 2011	10	130	3616	5940	5006	545,22	10,89	-0,57	-0,22	0,96*
Soja 2011	15	130	3514	5965	5003	503,17	10,05	-0,57	-0,037	0,96*
Soja 2011	20	130	3594	5939	4994	494,91	9,91	-0,51	-0,34	0,96*
Soja 2011	25	130	3592	5852	4980	483,71	9,71	-0,5	-0,34	0,96*
Soja 2011	30	130	3689	5800	4991	478,08	9,57	-0,48	-0,36	0,96*
Milho 2013	5	130	4053	10547	8218	1235,67	15,04	-0,96	1,32	0,94*
Milho 2013	10	130	4384	9962	8247	4384,74	13,39	-1,43	2,61	0,88*
Milho 2013	15	130	4855	9831	8242	1003,83	12,18	-1,31	1,86	0,89*
Milho 2013	20	130	4862	9721	8247	959,80	11,64	-1,37	2,01	0,88*
Milho 2013	25	130	5012	9595	8258	908,47	11,00	-1,44	2,14	0,87*
Milho 2013	30	130	5263	9642	8252	868,62	10,53	-1,38	1,79	0,87*

¹ Desvio Padrão; ² Coeficiente de variação; ³ Coeficiente de assimetria; ⁴ Coeficiente de curtose; ⁵ Teste de Shapiro-Wilk para distribuição normal, onde: (*) significativo em níveis de $p < 0,05$ e (ns) não significativo. Quando for significativo indica que a hipótese para distribuição normal é rejeitada.

Os teores de P apresentaram ainda uma amplitude elevada, variando de 5,50 a 54,88 mg dm⁻³, o que corrobora com dados de outros estudos de variabilidade deste elemento (SILVA et al., 2003; COELHO, 2003; CORÁ et al., 2004; SILVA et al., 2010a). A alta

variabilidade pode ocorrer devido a fatores naturais, como sua baixa concentração natural nos Latossolos e consequente alto poder tampão que, aliados à sua dinâmica de baixa mobilidade, podem resultar em alta variabilidade (SCHLINDWEIN, 2003). Além disso, o histórico de aplicações de fertilizantes localizada na linha a taxa fixa, pode contribuir para a manutenção ou/e agravamento da micro e macrovariabilidade espacial deste elemento na área (CHERUBIN et al., 2011).

A concentração média de K no solo mostrou-se acima dos limites críticos preconizados pela CQFS-RS/SC (2004), sendo classificada como muito alta em toda a área. Pesquisas tem demonstrado concentrações elevadas deste nutriente em Latossolos da região Sul do Brasil (AMADO et al., 2009; SANTI et al., 2012a e b; CHERUBIN, 2013), devido principalmente ao intenso processo de intemperismo dos minerais primários (micas, feldspatos e feldspatóides) e secundários (ilita, vermiculita e argilominerais interstratificados) que contém este elemento (ERNANI et al., 2007), sendo agravado pelo processo histórico de adubações formuladas com concentrações elevadas de K (RHEINHEIMER et al., 2001).

Seguindo a classificação prevista pela CQFS-RS/SC (2004), os teores de cálcio (Ca) encontrados no solo variaram de baixo a alto, apresentando de maneira geral, teores médios considerados satisfatórios para o desenvolvimento das culturas avaliadas neste estudo. Os teores de Mg mostraram-se altos em toda a área, sendo comuns resultados dessa natureza neste tipo de solo (AMADO et al., 2009; CHERUBIN et al, 2011). Os teores de matéria orgânica no solo (MO) foram classificados como médios em toda a área avaliada. A MO possui muitas funções no solo, dentre elas, é um indicador da disponibilidade de nitrogênio (CQFS-RS/SC, 2004).

Outros atributos de solo como a capacidade de troca de cátions (CTC_{pH7}) variaram de teores baixos a médios na área, estando a maior parte dos pontos classificada com teores médios. A saturação por alumínio variou de muito baixo a alto, com teores considerados baixos para a maior parte dos dados. A saturação por bases variou entre teores muito baixos e baixos no solo, predominando teores classificados como baixos (Tabela 1).

Os dados de produtividade passaram por um processo de filtragem para remoção de valores errôneos e discrepantes, onde foram removidos respectivamente 1,00; 4,17 e 1,68% dos dados das safras de soja 2010, soja 2011 e milho 2013. Apesar da remoção dos erros, observou-se distribuição não normal pelo teste W (Shapiro-Wilk) para a maior parte dos dados, exceto para soja 2010 nos raios de 5, 15, 20, 25 e 30 metros (Tabela 1). Dados não

normais de produtividade são também relatados em trabalhos de AP com a cultura do milho (SILVA et al., 2003) e soja (COELHO et al., 2009; SUSZEK et al., 2011).

Observou-se que na medida em que aumentam os raios amostrais para caracterização da produtividade de um ponto, diminui a amplitude e o coeficiente de variação (CV) dos dados (Tabela 1). O aumento do raio amostral resulta na inclusão de um maior número de pontos para compor a média da amostra, este procedimento acaba diluindo as flutuações nos valores, dá menos peso a possíveis erros no conjunto de dados e naturalmente diminui o CV da amostra. Esta tendência também foi observada por Souza et al. (2008), avaliando dados de produtividade de cana-de-açúcar.

De acordo com a Tabela 2, os coeficientes de correlação de Spearman observados entre a produtividade e os atributos químicos do solo, de maneira geral foram baixos, no entanto, alguns aspectos podem ser destacados.

Os valores das correlações foram maiores na medida em que se aumentou o raio amostral, conforme descrito anteriormente. Com o aumento do raio, mais pontos são utilizados para compor a amostra e menor é a oscilação dos valores, o que dá mais confiabilidade ao valor do ponto que é uma característica fundamental quando se utiliza uma matriz de correlação não paramétrica, que neste caso utiliza postos e não os valores dos pontos. A máxima correlação, para a maioria dos atributos, foi obtida com a utilização de um raio de 30 m. Este tamanho de raio foi considerado como limite máximo, uma vez que o seu aumento poderia utilizar muitos valores da célula vizinha para compor a média, uma vez que as amostragens de solo foram espaçadas por uma grade regular de 50 m (raio de 25 m).

De acordo com os grupamentos texturais descritos em Streck et al. (2008), a maior parte da área de estudo pode ser classificada como solo de textura muito argilosa (> 60% de argila). Os mesmos autores afirmam que a textura relaciona-se, direta ou indiretamente, com a drenagem, aeração, retenção e infiltração de água, entre outras características do solo. Diante do exposto, verificou-se correlações negativas entre os teores de argila e a produtividade a partir do raio de 10 m para as safras de soja 2011 e milho 2013, podendo estar ligada a fatores como aeração e drenagem destes solos, visto que nestes anos ocorreu precipitação regular a alta (Apêndice B). Estes dados corroboram com os de Kitamura et al. (2007), que avaliando a produtividade de feijoeiro cultivado sob pivô central em um Latossolo Vermelho distroférico típico muito argiloso (>60 g kg⁻¹), observaram correlações negativas com os teores de argila nas camadas de 0-0,1 m e 0,1-0,2 m de profundidade.

Tabela 2 - Coeficientes de correlação de Spearman entre atributos químicos do solo e produtividade de soja (2010 e 2011) e milho (2013), determinada através da média dos valores obtidos em diferentes raios amostrais a partir do ponto da coleta de solo.

Atributos Químicos do Solo	Raio amostral (m)					
	5	10	15	20	25	30
----- Soja 2010 -----						
Argila (g kg ⁻¹)	-0,02	-0,04	-0,05	-0,12	-0,15	-0,15
pH _{água}	0,01	-0,03	-0,01	-0,21*	-0,23*	-0,23*
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,07	0,10	0,07	0,19*	0,25*	0,25*
P (mg dm ⁻³)	0,07	0,13	0,11	0,15*	0,16*	0,19*
K (mg dm ⁻³)	0,03	-0,01	-0,05	-0,02	-0,01	0,01
Ca (cmol dm ⁻³)	0,01	-0,12	-0,05	-0,03	-0,05	-0,03
Mg (cmol dm ⁻³)	-0,07	0,01	-0,01	-0,11	-0,10	-0,11
MO (g kg ⁻¹)	-0,23*	-0,25*	-0,21*	-0,17	-0,11	-0,08
CTC _{pH7} (cmol dm ⁻³)	0,01	0,01	0,01	0,07	0,10	0,11
m (%) ¹	0,07	0,09	0,07	0,19*	0,24*	0,25*
V (%) ²	-0,02	-0,05	-0,02	-0,19*	-0,22*	-0,21*
----- Soja 2011 -----						
Argila (g kg ⁻¹)	-0,10	-0,22*	-0,26*	-0,26*	-0,27*	-0,29
pH _{água}	-0,16	-0,25*	-0,26*	-0,25*	-0,27*	-0,28*
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,15	0,15	0,16	0,20*	0,25*	0,21*
P (mg dm ⁻³)	0,16	0,29*	0,34*	0,35*	0,36*	0,37*
K (mg dm ⁻³)	-0,17*	-0,14	-0,14	-0,12	-0,09	-0,08
Ca (cmol dm ⁻³)	-0,12	-0,16	-0,18*	-0,18*	-0,15	-0,14
Mg (cmol dm ⁻³)	-0,13	-0,25	-0,03	-0,01	-0,05	-0,06
MO (g kg ⁻¹)	-0,15	-0,15	-0,14	-0,12	-0,15	-0,15
CTC _{pH7} (cmol dm ⁻³)	0,11	0,08	0,08	0,09	0,08	0,12
m (%) ¹	0,15	0,16	0,17*	0,21*	0,23*	0,23*
V (%) ²	-0,23*	-0,27*	-0,30*	-0,28*	-0,29*	-0,31*
----- Milho 2013 -----						
Argila (g kg ⁻¹)	-0,06	-0,26*	-0,28*	-0,27*	-0,28*	-0,28*
pH _{água}	0,04	-0,09	-0,15	-0,14	-0,14	-0,14
Al (cmol _c dm ⁻³)	-0,32	0,09	0,17*	0,17*	0,18*	0,18*
P (mg dm ⁻³)	0,04	0,28*	0,31*	0,33*	0,34*	0,36*
K (mg dm ⁻³)	-0,09	0,02	0,04	0,06	0,06	0,09
Ca (cmol dm ⁻³)	-0,05	-0,01	0,01	0,05	0,03	0,03
Mg (cmol dm ⁻³)	-0,02	-0,06	-0,11	-0,13	-0,11	-0,12
MO (g kg ⁻¹)	-0,12	-0,15	-0,18*	-0,16*	-0,17*	-0,16
CTC _{pH7} (cmol dm ⁻³)	-0,10	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09
m (%) ¹	-0,02	0,06	0,15	0,15	0,15	0,16
V (%) ²	-0,02	-0,13	-0,17	-0,14	-0,16	-0,15

¹ Saturação por Al; ² Saturação por Bases; * significativo em níveis de $p < 0,05$.

A produtividade de soja no ano de 2010 não apresentou correlação significativa com os teores de argila no solo, no entanto, a cultura foi influenciada por uma estiagem de mais de 20 dias na fase de enchimento de grãos (Apêndice B), o que prejudicou a média produtiva deste ano (Tabela 2). Como os solos argilosos possuem maior capacidade de reter água

(MEURER, 2007), os pontos com maior concentração de argila podem ter contribuído para a manutenção da disponibilidade hídrica no período de estiagem.

Outra explicação para o comportamento da argila pode estar ligada ao fato de o método de determinação do P disponível (Mehlich - 1), tem seu poder de extração desgastado a medida em que aumentam os teores de argila, especialmente em solos ácidos (NOVAIS et al., 2007). Desta forma, efeitos indiretos dos teores de argila podem influenciar na caracterização dos reais teores de P no solo, gerando uma relação inversa, que pode resultar correlações negativas entre a argila e a produtividade em função do P. Esta tendência à relação inversa entre argila e teores de P no solo pode ser visualizada na Figura 3.

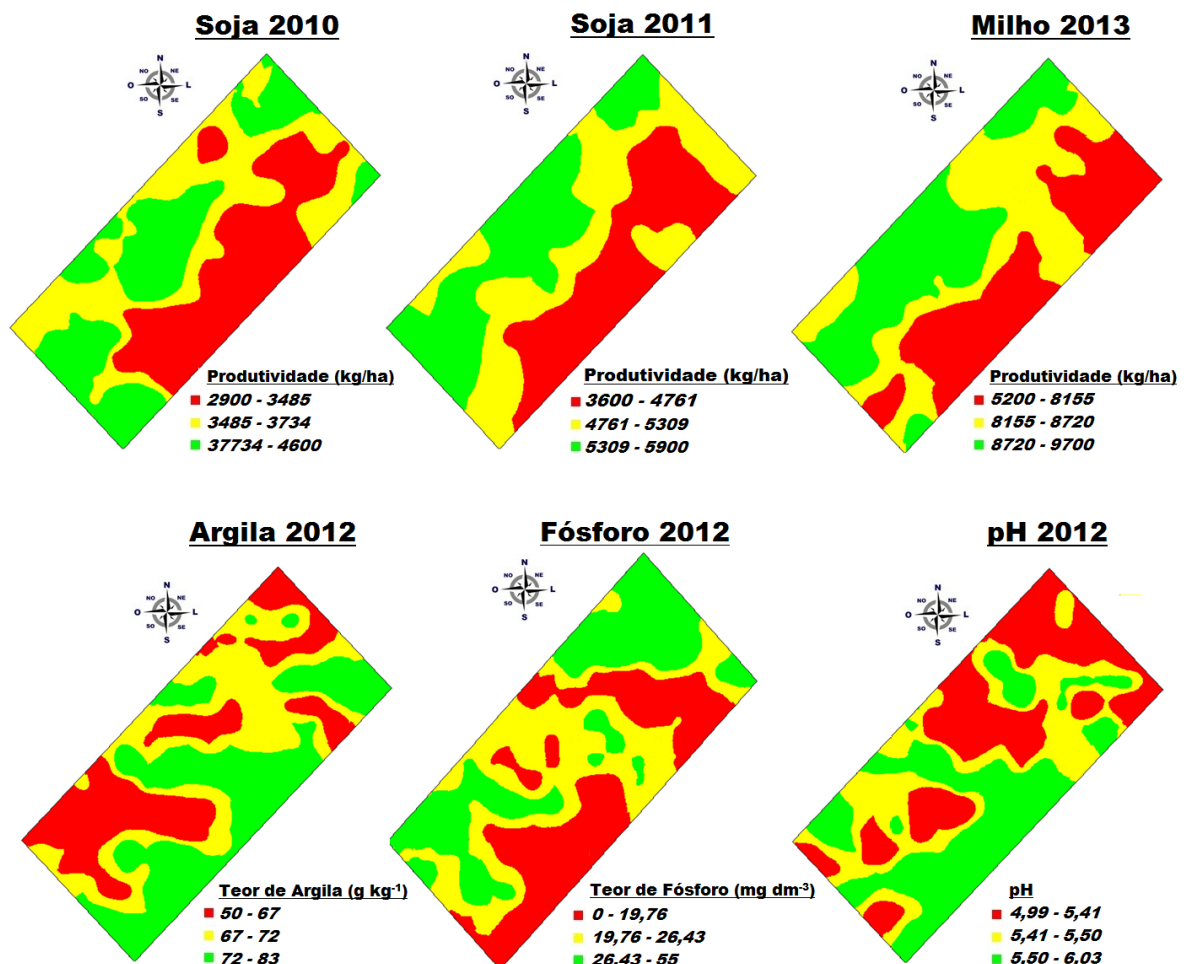


Figura 3 - Mapas de produtividade (raio 30 metros) e teores de P, argila e pH do solo.

O pH do solo apresentou correlações negativas com a produtividade da soja no ano de 2010 (raio 20, 25, 30) e 2011 (10, 15, 20, 25, 30). Souza et al. (2008) trabalhando com cana-de-açúcar encontraram resultados semelhantes, observando aumento da correlação negativa na medida em que se aumentam os raios amostrais de produtividade, tanto para amostragem

de 0 – 0,1 cm, como para amostras de 0,1 – 0,2 m de profundidade. Resultados semelhantes foram verificados por Cerri e Magalhães (2012), trabalhando em uma área de cana-de-açúcar com pH médio de 6,10. Efeitos variados são verificados de acordo com o elemento avaliado, no entanto, a identificação do fator limitante e a espacialização dos demais é o ponto chave para uma correta investigação das relações que um pode exercer sobre outro. Na figura 3, observa-se que o pH segue uma distribuição inversa ao teor de P no solo, portanto, a relação negativa de pH com produtividade pode estar sendo influenciada pelo teor de P no solo, causando interpretações errôneas quando se observa somente a matriz de correlação sem a observação espacial.

O nutriente que se apresentou maiores correlações com a produtividade na área nas três safras avaliadas foi o P, com tendência de aumento gradual dos coeficientes na medida em que se aumentam os raios amostrais de produtividade, sendo obtidas maiores correlações utilizando o raio amostral de 30 metros. O maior coeficiente de correlação foi observado na cultura da soja de 2011, seguida pela cultura do milho 2013 e soja 2010. Isso demonstra que tão maiores foram os coeficientes de correlação observados, quanto menor o intervalo entre a amostragem (janeiro de 2012) e a colheita das culturas. O elemento P também foi observado como limitante a produtividade de grãos de milho por Nogara Neto et al. (2011), que utilizaram técnicas de análise estatística não paramétricas para priorizar intervenções de adubação com P e Mg em um Latossolo Bruno de textura argilosa.

Os Latossolos Vermelhos que ocorrem no RS são naturalmente pobres nos teores de P disponíveis (FIORIN, 2007), sendo reportados em trabalhos de Amado et al. (2009), Cherubin et al. (2011) e Santi et al. (2012b). Segundo Novais et al. (2007), na medida que aumenta o grau de intemperismo, há uma mudança gradual nas características do solo, tornando-se mais eletropositivo e com grande capacidade de adsorver e reter ânions, tais como os fosfatos. Desta forma, aplicações de corretivos e fertilizantes, especialmente fosfatados, apresentam uma alta probabilidade de respostas positivas na produtividade das culturas (FIORIN, 2007; AMADO e SANTI, 2011).

Cherubin (2013), ao estudar 3.539 amostras de solo de áreas manejadas com AP no RS, observou teores médios de P (CQFS-RS/SC, 2004), no entanto, devido à alta variabilidade deste elemento, há muitos locais com teores críticos no interior de cada área. Desta forma, nestes solos o P caracteriza-se como um dos nutrientes mais limitantes à produtividade das plantas e, por consequência, torna-se prioridade em intervenções de manejo, via fertilizantes (SILVA et al., 2010b).

Apesar do elevado teor médio de P na área ($23,78 \text{ mg dm}^{-3}$), a amplitude ($49,33 \text{ mg dm}^{-3}$) e o CV (23,78%) dos dados demonstram haver locais com teores abaixo do nível crítico. No entanto, cabe ressaltar que Schlindwein e Gianello (2008), utilizando dados de 54 experimentos conduzidos no Rio Grande do Sul, verificaram que as doses de fertilizante fosfatado para as culturas de soja e milho foram maiores que as atualmente recomendadas para produção de 90% do rendimento máximo (teor crítico). Observou-se que os teores críticos de P são maiores em solos cultivados sob sistema plantio direto com soja, trigo e milho tanto na camada de 0-0,1 m como de 0-0,20 m de profundidade.

Pode-se constatar visualmente a similaridade entre os mapas de produtividade (raio 30 m) e de P (Figura 3), demonstrado pelos coeficientes de correlação de Spearman. De maneira geral, a porção sudeste da área apresentou baixas produtividades ao longo dos anos avaliados, coincidindo parcialmente com os locais de menor concentração de P, ainda que boa parte acima dos valores considerados críticos pela CQFS-RS/SC (2004). Estes dados corroboram com os encontrados por Mattioni et al. (2013), que trabalhando em um Latossolo Vermelho distrófico típico, avaliaram a correlação entre a produtividade da soja e atributos de solo, encontrando correlações significativas positivas entre a produtividade e teores de fósforo do solo, mesmo estes estando acima dos limites críticos previstos pela CQFS-RS/SC (2004).

Na distribuição de P, somente um ponto se encontrava com valor abaixo dos 6 mg dm^{-3} considerado crítico pelo Manual (CQFS-RS/SC, 2004). Por outro lado, 17 pontos (dos 130) encontram-se com valores abaixo de 16 mg dm^{-3} , preconizados por Schlindwein e Gianello (2008) como críticos para este tipo de solo na camada de 0-0,1 m de profundidade. A média de produtividade destes pontos estava 1%, 7% e 6 % abaixo da média geral da área para as safras de soja 2010, soja 2011 e milho 2013, respectivamente.

4.6 Conclusões

1. O elemento P apresentou as maiores correlações positivas com a produtividade das culturas de soja e milho;
2. A correlação entre produtividade e atributos químicos do solo é condicionada pelo tamanho do raio amostral de produtividade, apresentando maiores correlações com o uso do raio de 30 metros.

4.7 Agradecimentos

Ao Grupo Schaedler, proprietários da Fazenda Vila Morena, pela disponibilização da área de estudo e apoio na execução da pesquisa, em especial ao Sr. Carlos Eduardo Dauve pela prestatividade e apoio logístico.

4.8 Referências Bibliográficas

AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.831-843, 2009.

AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L. Agricultura de precisão aplicada ao aprimoramento do manejo do solo. In: FIORIN, J. E. (Ed.). **Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto**. Passo Fundo, Berthier, 2007. p. 99-144.

AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L. Using Precision Farming to Overcome Yield-Limiting Factors in Southern Brazil Oxisols: A Case Study. In: CLAY D. E.; SHANAHAN, J. F. **GIS Applications in Agriculture – v.2 – Nutrients Management for Energy Efficiency**, EUA: CRC Press, p. 31-60, 2011.

CARVALHO, G. J.; CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; MARTINS, M. V. Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.765-771, 2006.

CERRI, D. G. P.; MAGALHÃES, P. S. G. Correlation of physical and chemical attributes of soil with sugarcane yield. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.4, p. 613-620, 2012.

CHERUBIN, M. R. **Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização de atributos químicos em Latossolos manejados com agricultura de precisão**. 2013. 99p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Agricultura e Ambiente) - Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2013.

CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; EITELWEIN, M. T.; VIAN, A. L. Caracterização e estratégias de manejo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo utilizando a análise dos componentes principais. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, p.196-210, 2011.

COELHO, A. M. Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURI, R. F.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G. ; LIMA, J. M.; LOPES A. S.; ALVAREZ V., V. H. (Eds). **Tópicos em Ciência do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 3, p. 259-290, 2003.

COELHO, E. C.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; PINHEIRO NETO, R. Influência da densidade amostral e do tipo de interpolador na elaboração de mapas temáticos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.31, p.165-174, 2009.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

CORÁ, J. E. ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 1013-1021, 2004.

DURIGON, R. **Aplicação de técnicas de manejo localizado na cultura de arroz irrigado (*Oryza sativa*)**. 2007. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do Solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.551-594, 2007.

FIORIN, J. E. **Manejo e Fertilidade do Solo no Sistema Plantio Direto**. Passo Fundo: Berthier, 2007. 184p.

GIOTTO, E.; ROBAINA, A. D. **A agricultura de precisão com o CR Campeiro 7**. Manual do usuário. Santa Maria: UFSM/Centro de Ciências Rurais/Departamento de Engenharia Rural/Laboratório de Geomática, 2007, 319p.

GOMES, J. B. V.; BOLFE, E. L.; CURI, N.; FONTES, R. H.; BARRETO, A. C.; VIANA, R. D. Variabilidade espacial de atributos de solos em unidades de manejo em área piloto de produção integrada de coco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 2471-2482, 2008.

GONTIJO, I.; NICOLE, L. R.; PARTELLI, F. L.; BONOMO, R.; SANTOS, E. O. J. Variabilidade e correlação espacial de micronutrientes e matéria orgânica do solo com a produtividade da pimenta-do-reino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p. 1093-1102, 2012.

KITAMURA, A. E.; CARVALHO, M. P.; LIMA, C. G. R. Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, p. 361-369, 2007.

LUCHIARI JR., A.; BORGHI, E.; AVANZI, J. C.; FREITAS, A. E. B.; BORTOLON, L.; OLIVEIRA, E. S.; UMMUS, M. E.; INAMASU, R. Y. Zonas de Manejo: teoria e prática. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Org.). **Agricultura de Precisão: um novo olhar**. 1ª ed. São Carlos - SP: Embrapa Instrumentação, v. 1, p. 60-64, 2011.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.8, p.141-150, 2000.

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

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P. Metodologia para identificação e caracterização de erros em mapas de produtividade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 367-374, 2003.

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P. Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, p.126-134, 2004.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B. (Eds). **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Viçosa – MG, p.66-90, 2007.

MILANI, L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A.; PEREIRA, J. O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 591-598, 2006.

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

MOTOMIYA, A. V. A.; MOLIN, J. P.; MOTOMIYA, W. R.; VIEIRA, S. R. Spatial variability of soil properties and cotton yield in the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.10, p.996-1003, 2011.

NOGARA NETO, F.; ROLOFF, G.; DIECKOW, J.; MOTTA, A. C. V. Atributos de solo e cultura espacialmente distribuídos relacionados ao rendimento do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1025-1036, 2011.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Viçosa – MG, p.471-550, 2007.

PASSARI, L. M. G. Z.; SOARES, P. K.; BRUNS, R. E.; SCARMINIO, I. S. Estatística aplicada à química: dez dúvidas comuns. **Química Nova**, v. 34, n. 5, p. 888-892, 2011.

RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; ROBAINA, A. D.; ANGHINONI, I.; FLORES, J. P. C.; HORN, D. **Situação da fertilidade dos solos no estado**

do Rio Grande do Sul. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria/Centro de Ciências Rurais/ Departamento de Solos, 2001. 41p. (Boletim Técnico 2).

RODRIGUES, M. S.; CORÁ, J. E.; FERNANDES, C. Spatial relationships between soil attributes and corn yield in no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 599-609, 2012.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão.** 2007. 150p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; MARTIN, T. N.; PIRES, J. L.; DELLA FLORA, L. P.; BASSO, J. C. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitante à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1346-1357, 2012a.

SANTI, A. L.; FIORIN, J. E.; COCCO, K. L. T.; CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; AMADO, T. J. C.; HAUSCHILD, F. E. G. Distribuição horizontal e vertical de fósforo e potássio em área manejada com ferramentas de Agricultura de Precisão. **Revista Plantio Direto**, v.109, p.18-25, 2012b.

SANTOS, A. O.; MAZIERO, J. V. G.; CAVALLI, A. C.; VALERIANO, M. M.; OLIVEIRA, H.; MORAES, J. F. L.; YANAI, K. Monitoramento localizado da produtividade de milho cultivado sob irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 1, p. 88-95, 2001.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. ; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006b. 306p.

SANTOS, M. L.; CARVALHO, M. P.; RAPASSI, R. M. A.; MURASHI, C. T.; MALLER, A.; MATOS, F. A. Correlação linear e especial entre a produtividade de milho (*Zea mays* L.) e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto do Cerrado Brasileiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.28, p.313-321, 2006a.

SAS INSTITUTE - Statistical Analysis System. **SAS/STAT User's Guide 8.0**. North Caroline-NC: SAS Institute Inc., 1999. 3365p.

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

SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Calibração de métodos de determinação de fósforo em solos cultivados sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de ciência do Solo**, v. 32, p. 2037-2049, 2008.

SHIRATSUCHI, L. S. **Conceitos e considerações práticas do sistema de geração de mapas de produtividade na cultura de grãos**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 27p. (Documentos, 126).

SILVA, F. M.; SOUZA, Z. M.; FIGUEIREDO, C. A. P.; VIEIRA, L. H. S.; OLIVEIRA, E. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. **Revista Ciência Agrotécnica**, v. 32, n. 1, p. 231-241, 2008.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; OLIVEIRA, R. B.; SILVA, A. F. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.1-8, 2010b.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C.; TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p. 15-22, 2010a.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p. 1013-1020, 2003.

SOUZA, Z. M.; CERRI, D. G. P; MAGALHÃES, P. G; CAMPOS, M. C. C. Correlação dos atributos físicos e químicos do solo com a produtividade de cana-de-açúcar **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 2, p. 183-190, 2008.

SOUZA, Z. M.; CERRI, D. G. P.; COLET, M. J.; RODRIGUES, L. H. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; MANDONI, R. J. A. Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. **Ciência Rural**, v.40, p.840-847, 2010.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2.ed. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222p.

SUSZEK, G. ; SOUZA, E. G. ; URIBE-OPAZO, M. A. ; NOBREGA, L. H. P. Determination of management zones from normalized and standardized equivalent productivity maps in the soybean culture. **Engenharia Agrícola**, v.31, p.895-905, 2011.

YANAI, J.; LEE, C. K.; KAHO, T.; IIDA, M.; MATSUI, T.; UMEDA, M.; KOSAKI, T. Geostatistical analysis of soil chemical properties and rice yield in a paddy field and application to the analysis of yield-determining factors. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 47, n.2, p. 291-301, 2001.

4.9 Apêndice

Apêndice A – Histórico dos cultivos, práticas de adubação e correção realizadas na área de estudo.

Ano Agrícola	Safrá	Cultura	Correção/Adubação		
			Fonte ⁽¹⁾	Quantidade (kg ha ⁻¹)	Modo de Aplicação
2008/09	Inverno	Aveia Preta	Sem Adubação	Sem Adubação	Sem Adubação
			Calcário	1.100	Lanço
	Verão	Milho	Adubação orgânica	1.100	Lanço
			MAP	170	Linha
			KCL	100	Lanço
2009/10	Inverno	Aveia branca	Ureia	290	Lanço
			MAP	120	Linha
	Verão	Soja	NPK 02-25-15	100	Lanço
				340	Linha
2010/11	Inverno	Aveia branca	NPK 05-20-20	100	Linha
			Ureia	50	Lanço
	Verão	Soja	MAP	160	Linha
			SFT	120	Lanço
			KCL	100	Lanço
2011/12	Inverno	Aveia preta	Sem Adubação	Sem Adubação	Sem Adubação
			DAP	120	Linha
	Verão	Soja	KCL	100	Lanço
2012/13	Inverno	Aveia preta	Sem Adubação	Sem Adubação	Sem Adubação
			DAP	150	Linha
	Verão	Milho	Ureia	200	Lanço

⁽¹⁾Adub. Org.: Adubação orgânica utilizando cama de peru; MAP: fosfato monoamônico (48% de P₂O₅ (em CNA+água) + 9% N); DAP: fosfato diamônico (45% de P₂O₅ (em água) + 16% N); SFT: superfosfato triplo (41% de P₂O₅ (em CNA+água) + 12-14% Ca); KCl: cloreto de potássio (58% de K₂O (em água) + 45-48% Cl); NPK: Fertilizante formulado fonte de nitrogênio, fósforo e potássio; Ureia: (45% N).

Apêndice B - Precipitação registrada na área de estudo entre os anos de 2009 e 2013.

Ano	Decêndio ⁽¹⁾	Mês											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2009	1	18	15	39	5	10	11	88	168	158	90	146	121
	2	53	55	43	0	206	65	140	93	203	82	184	18
	3	6	101	22	0	111	66	49	0	107	35	248	153
2010	1	59	58	0	0	26	13	53	22	47	51	7	54
	2	73	114	27	0	190	139	88	27	16	124	6	154
	3	43	12	84	199	22	0	50	0	255	61	39	63
2011	1	34	34	25	24	47	49	2	36	36	26	0	44
	2	25	22	2	73	15	50	283	75	24	76	88	0
	3	129	40	133	99	0	194	32	45	5	36	25	17
2012	1	3	24	88	25	0	127	81	0	22	215	20	37
	2	54	14	32	48	0	42	0	20	87	7	12	194
	3	34	71	34	34	10	14	131	8	3	191	40	40
2013	1	126	27	103	87	0							
	2	0	54	54	63	67							
	3	3	11	35	15	39							

⁽¹⁾ Decêndio 1: dia 1º ao dia 10; Decêndio 2: dia 11 a 20; Decêndio 3: dia 21 a 30 (31).

5 DISCUSSÃO

O monitoramento da produtividade deve ser uma das principais etapas da AP, intervenções a taxa variada só terão sua eficácia mensurada através da análise dos mapas de produtividade. Apesar da ampla gama de conjuntos de monitoramento de colheita disponíveis no mercado, os dados continuam a apresentar erros. Os erros em geral representam um pequeno percentual do conjunto total de dados, apesar disso, não devem ser desconsiderados quando se trata de uma tecnologia que utiliza técnicas precisas. Neste sentido, há uma demanda por equipamentos mais acurados, eliminando a necessidade de processos de filtragem (*a posteriori*) que possam remover informações importantes do banco de dados.

De acordo com os resultados observados no capítulo II, a observação temporal da produtividade pode criar alguns padrões de distribuição similar mesmo entre culturas diferentes. Esta constatação é mais clara em situações onde a produtividade apresenta grandes oscilações ao longo da área, o que sugere ser mais fácil de identificar quando se usam lavouras heterogêneas e de preferência com uma área ampla. A similaridade entre dois mapas sequenciais não é regra, mas o agrupamento de pelo menos três safras já pode evidenciar algumas tendências, como verificado por Santi et al. (2013). O número de safras avaliadas vai determinar a qualidade da informação, quanto maior o banco de dados, maior a confiabilidade para definição das zonas de estabilidade produtiva.

A definição de classes e os critérios de agrupamento influenciam diretamente nos resultados. A divisão dos dados em classes iguais possui vantagens e desvantagens, sendo indicado em locais com alta variabilidade produtiva e usado com cautela quando a produtividade não apresentar muita oscilação. Isto se deve ao fato de a metodologia forçar a ocorrência da distinção de zonas mesmo onde os valores são muito próximos, nestes casos o uso de classes com valores pré-definidos como sugeridos por Molin (2002) parece ser mais coerente.

A definição da correlação entre os atributos químicos do solo e a produtividade (capítulo 3), demonstrou haver grande influencia do raio amostral na definição da produtividade do ponto. Isto sugere a presença de erros e/ou oscilações nas leituras em pontos sequenciais, aumentando a qualidade da informação com o aumento do raio e inclusão de mais pontos vizinhos para determinar a média. Como constatado por Souza et al. (2008), estas oscilações ocorrem também na cultura da cana de açúcar, aumentando a qualidade das correlações com o aumento do raio amostral.

Os aspectos químicos do solo evidenciaram influencia do elemento P na produtividade. Apesar de os teores de praticamente todos os pontos estarem acima dos limites considerados críticos pela CQFS-RS/SC (2004), a análise visual demonstrou similaridade entre as áreas de baixa produtividade e menores teores de P no solo. Desta maneira, uma lavoura cultivada sob sistema de plantio direto, altamente produtiva e com boa fertilidade do ponto de vista de atributos químicos, pode apresentar limites críticos acima dos prescritos, corroborando com Schlindwein e Gianello (2008).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T. J. C.; PES, L. Z.; LEMAINSKI, C. L.; SCHENATO, R. B. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com rendimentos de milho e feijão irrigados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, 831-843, 2009.

ARNÓ, J.; ROSELL, J. R.; BLANCO, R.; RAMOS, M. C.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A. Spatial variability in grape yield and quality influenced by soil and crop nutrition characteristics. **Precision Agriculture**, v.13, p.393-410, 2012.

ARSLAN, S.; COLVIN, T. S. Grain yield mapping: yield sensing, yield reconstruction and errors. **Precision Agriculture**, v.3, p. 135-154, 2002.

BLACKMORE, B. S.; MOORE, M. R. Remedial correction of yield map data. **Precision Agriculture**, v.1, p.53-66, 1999.

BLACKMORE, S.; GODWIN, R. J.; FOUNTAS, S. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. **Biosystems Engineering**, v. 84, n. 4, p. 455- 466, 2003.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

GUEDES FILHO, O.; VIEIRA, S. R.; CHIBA, M. K.; NAGUMO, C. H.; DECHEN, S. C. F. Spatial and temporal variability of crop yield and some rhodic hapludox properties under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1-14, 2010.

GUO, W.; MASS, S. J.; BRONSON, K. F. Relationship between cotton yield and soil electrical conductivity, topography, and Landsat imagery. **Precision Agriculture**, v.13, p. 678-692, 2012.

KASPAR, T. C.; COLVIN, T. S.; JAYNES, D. B.; KARLEN, D. L.; JAMES, D. E.; MEEK, D. W. Relationship between six years of corn yields and terrain attributes. **Precision Agriculture**, v.4, p.87-101, 2003.

MACHADO, S.; BYNUM JR., E. D.; ARCHER, T. L.; BORDOVSKY, J.; ROSENOW, D. T.; PETERSON, C.; BRONSON, K.; NESMITH, D. M.; LASCANO, R. J.; WILSON, L. T.; SEGARRA, E. Spatial and temporal variability of sorghum grains yield: influence of soil, water, pests, and diseases relationships. **Precision Agriculture**, v.3, p.389-406, 2002.

MENEGATTI, L. A. A.; MOLIN, J. P. Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, p.126-134, 2004.

MIAO, Y.; MULLA, D. J.; ROBERT, P. C. Identifying important factors influencing corn yield and grain quality variability using artificial neural networks. **Precision Agriculture**, v.7, p.117-135, 2006.

MILANI, L.; SOUZA E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A.; PEREIRA J. O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.28, p.591-598, 2006.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v.22, p.83-92, 2002.

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

MOLIN, J. P. Utilização de GPS em agricultura de precisão. **Engenharia Agrícola**, v. 17, n. 3, p. 121-132, 1998.

MOLIN, J. P.; CASTRO, C. N. Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 6, 2008.

PEREIRA, F. J. S.; MOLIN, J. P. Bancada de ensaio para avaliação de monitores de produtividade de grãos. **Engenharia Agrícola**, v.23, p.568-578, 2003.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; MARTIN, T. N.; PIRES, J. L.; DELLA FLORA, L. P.; BASSO, C. J. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1346-1357, 2012.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; EITELWEIN, M. T.; CHERUBIN, M. R.; SILVA, R. F.; DA ROS, C. O. Definição de zonas de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão. **Agrária**, 2013 (in press).

SANTOS, M. L.; CARVALHO, M. P.; RAPASSI, R. M. A.; MURAIISHI, C. T.; MALLER, A.; MATOS, F. A. Correlação linear e especial entre a produtividade de milho (*Zea mays* L.) e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto do Cerrado Brasileiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.28, p.313-321, 2006.

SCHEPERS, J. S.; HOLLAND, K. H. Evidence of dependence between crop vigor and yield. **Precision Agriculture**, v.13, p.276-284, 2012.

SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Calibração de métodos de determinação de fósforo em solos cultivados sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de ciência do Solo**, v. 32, p. 2037-2049, 2008.

SOUZA, Z. M.; CERRI, D. G. P.; COLET, M. J.; RODRIGUES, L. H. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; MANDONI, R. J. A. Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. **Ciência Rural**, v.40, p.840-847, 2010.

SOUZA, Z. M.; CERRI, D. G. P.; MAGALHÃES, P. G.; CAMPOS, M. C. C. Correlação dos atributos físicos e químicos do solo com a produtividade de cana-de-açúcar. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 2, p. 183-190, 2008.

SUSZEK, G. ; SOUZA, E. G. ; URIBE-OPAZO, M. A. ; NOBREGA, L. H. P. Determination of management zones from normalized and standardized equivalent productivity maps in the soybean culture. **Engenharia Agrícola**, v.31, p.895-905, 2011.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D.; HAVLIN, J. L. **Soil fertility and fertilizer**. 5 ed. New York: MacMillan, 1993. 634 p.

ZHAO, C.; HUANG, W.; CHEN, L.; MENG, Z.; WANG, Y.; XU, F. A harvest area measurement system based on ultrasonic sensors and DGPS for yield map correction. **Precision Agriculture**, v. 11, p.163-180, 2010.