

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

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO PROGRAMA
CR CAMPEIRO 7, PARA ANÁLISE DE PROPRIEDADES
QUÍMICAS DO SOLO E MAPAS DE PRODUTIVIDADE**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Pedro Otávio de Mello Felipe

Santa Maria, RS, Brasil

2010

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO PROGRAMA
CR CAMPEIRO 7, PARA ANÁLISE DE PROPRIEDADES
QUÍMICAS DO SOLO E MAPAS DE PRODUTIVIDADE**

por

Pedro Otávio de Mello Felipe

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado
do Programa de Pós-Graduação em Geomática,
Área de Concentração em Tecnologia da Geoinformação,
da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geomática

Orientador: Prof. Dr. Enio Giotto

Santa Maria, RS, Brasil

2010

F315a Felipe, Pedro Otávio de Mello
Avaliação do desempenho do programa CR Campeiro 7, para análise de propriedades químicas do solo e mapas de produtividade / por Pedro Otávio de Mello Felipe – 2010.
105 f. ; il. ; 30 cm

Orientador: Enio Giotto
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Geomática, RS, 2011.

1. Geomática 2. Agricultura de precisão 3. Mapas de fertilidade 4. Mapas de produtividade I. Giotto, Enio II. Título.

CDU 631.4:004.4

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

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

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO PROGRAMA
CR CAMPEIRO 7, PARA ANÁLISE DE PROPRIEDADES
QUÍMICAS DO SOLO E MAPAS DE PRODUTIVIDADE**

elaborada por

Pedro Otávio de Mello Felipe

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geomática

Comissão Examinadora

Enio Giotto, Dr.
(Presidente - Orientador)

Telmo Jorge Carneiro Amado, Dr.
(UFSM)

Antônio Luis Santi, Dr.
(UFSM/CESNORS)

Santa Maria, 15 de dezembro de 2010

*"É só dos sentidos que procedem
toda a autenticidade,
toda a boa consciência,
toda a evidência da verdade."*

(Friedrich Nietzsche)

Dedico esse trabalho

*À minha mãe Maria Heloisa,
e ao meu pai Idory Felipe,
pelo amor, esforço, dedicação e compreensão,
em todos os momentos desta e de outras caminhadas.*

*Em especial, ao meu grande irmão João Paulo,
por sua disposição, apoio e confiança.*

*À minha namorada Dina, por toda ajuda sem medir esforços
durante todo esse período da minha vida.*

*Aos meus tios e primos, que, mesmo de longe,
sempre fazem votos para o meu sucesso.*

*Aos meus tios José Américo e Elma, que sempre estiveram ao
meu lado nessa longa caminhada.*

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, por disponibilizar toda sua estrutura, possibilitando a elaboração e conclusão deste trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Rural, através do Laboratório de Geomática, por ter me proporcionado o aperfeiçoamento profissional, um grande aprendizado e oferecer as condições necessárias ao desenvolvimento deste trabalho.

À CAPES, que contribuiu de forma decisiva na parte financeira, sem a qual seria mais difícil conseguir subir mais este degrau.

Ao Prof. Dr. Enio Giotto, pela confiança, apoio e orientação na elaboração de minha dissertação, e pela disponibilização ao aprendizado e uso do sistema CR CAMPEIRO 7.

Ao Prof. Dr. José Américo de Mello Filho, por todo auxílio e tempo disponibilizado à minha ajuda.

Aos Prof. Drs. Telmo Jorge Carneiro Amado e Antônio Luis Santi, por participarem da Comissão Examinadora, e pelas recomendações.

Ao Prof. Dr. Elódio Sebem, por sua ajuda e amizade.

Ao Prof. Dr. Rudiney Soares Pereira, por estar sempre à disposição para sanar dúvidas.

Ao Prof. MSc. Luis Fernando Sangoi, pela convivência dentro e fora da UFSM.

Ao meu amigo e colega Junior Giroto, pela convivência e parceria nos trabalhos curriculares.

Aos colegas de Laboratório, Dina Antunes, Daniely Vaz, Fabio Pires, Maureen Stefanello, Andressa Karsburg, Wagner Savegnaro.

À Rose dos Santos, que sempre vinha ao Laboratório trazendo felicidade que contaminava todos nós.

Aos funcionários Wanderley Vasconcellos e André Höher, sempre disponíveis, resolvendo todos os problemas de secretaria.

À Universidade Pública, que, por esforço de milhões de brasileiros, possibilita o Ensino, a Pesquisa e a Extensão, de qualidade.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO PROGRAMA CR CAMPEIRO 7 PARA ANÁLISE DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO E MAPAS DE PRODUTIVIDADE

AUTOR: PEDRO OTAVIO DE MELLO FELIPE

ORIENTADOR: ENIO GIOTTO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 15 de dezembro de 2010.

Este trabalho consiste em apresentar e discutir a Agricultura de Precisão de forma simples, através das rotinas de Agricultura de Precisão do Sistema CR-Campeiro 7, conjunto de programas elaborado no Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria UFSM, Laboratório de Geomática, concebido e programado pelo Prof. Dr. Enio Giotto, e o desempenho desses programas, visando à análise da variabilidade espacial de propriedades químicas do solo e da produtividade. O Capítulo I – Malha de Amostragem traz um tutorial sobre a elaboração de um plano de amostragem para avaliação espacial de propriedades físico-químicas de solo por meio de técnicas geoestatísticas; o plano de amostragem pode contribuir de forma relevante para diminuição do custo de coleta de amostras como também para a qualidade dessas amostras. O Capítulo II – Mapa de Fertilidade analisa uma ferramenta que auxilia o usuário na classificação dos níveis de fertilidade do solo, sendo o resultado apresentado em forma cartográfica, onde o mapa final é a integração temática entre o mapa que contém os teores de Fósforo no solo e o mapa que apresenta os teores de Argila, tornando a recomendação para aplicação de fertilizantes fornecedores de Fósforo mais precisas para áreas onde ocorre mais de uma classe de Argila. No Capítulo III – Mapa de Produtividade é realizada uma filtragem nos dados de colheita, tornando possível a confecção de um mapa de produtividade coerente com a realidade do campo, com uma confiabilidade maior dos dados, fornecendo informações relevantes ao gerenciamento agrícola.

Palavras-Chave: CR-Campeiro 7; Agricultura de Precisão; Malha de Amostragem; Mapas de Fertilidade; Produtividade.

ABSTRACT

Master Thesis
Post-Graduation Program in Geomatics
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

PERFORMANCE EVALUATION OF THE SOFTWARE CR 7 CAMPEIRO ANALYSIS OF SOIL CHEMICAL PROPERTIES AND MAPS OF PRODUCTIVITY

Author: **P**EDRO **O**TAVIO DE **M**ELLO **F**ELIPE
Adviser: **E**NIO **G**IOTTO

Date and local of defense: Santa Maria, December 15th, 2010.

This work is to present and discuss the Precision Farming in a simple way through the routines of the precision farming into the system Campeiro CR-7 and its performance in order to analyze the spatial variability of soil properties and productivity. Chapter I –The Loop Sampling, provides a tutorial on developing a sampling plan for spatial assessment of physic-chemical properties of soil by means of geostatistical techniques, the sampling plan can contribute significantly to reducing the cost of collection of samples as well as quality of these samples. Chapter II – Map of Fertility analyzes a tool that assists the user in the classification of levels of soil fertility, and the result presented in map form, where the final map is a cross between a map that contains phosphorus in the soil and map showing the clay making the recommendation to apply phosphorus fertilizer supplier to more precise areas where there is more than one class of clay. Chapter III – Productivity Map filtering is performed on the data collection, making it possible to make a map of productivity consistent with the reality of the field with a greater reliability of the data, providing information relevant to agricultural management.

Keywords: CR-Campeiro 7; Precision Agriculture; Grid Sampling; Maps of Fertility; Productivity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1– Mapa da Localização do Município de Santa Maria.....	18
Figura 2.2 – Imagem da Localização da Área de Estudo.....	20
Figura 3.1 – Sistema de Posicionamento Global – GPS.....	30
Figura 3.2 – Imagem com a visualização da malha de amostragem.....	35
Figura 3.3 – Tela de Cadastro de Produtor.....	37
Figura 3.4 – Tela de Cadastro de Propriedade.....	37
Figura 3.5 – Tela de Cadastro do Talhão.....	38
Figura 3.6 – Tela de Cadastro Espacial.....	39
Figura 3.7 – Tela de acesso à rotina de Agricultura de Precisão do CR Campeiro 7.....	40
Figura 3.8 – Tela do Sistema de Agricultura de Precisão.....	40
Figura 3.9 – Tela de Confecção da Malha de Amostragem de Pontos....	41
Figura 3.10 – Tela de Visualização da Malha de Amostragem de Pontos	41
Figura 3.11 – Mapa do Modelo Digital da Malha de Amostragem em Arquivo pdf e Arquivo de texto das Coordenadas dos pontos da malha...	42
Figura 3.12 – Visualização da Malha Hexagonal com identificação dos pontos amostrais.....	43
Figura 3.13 – Roteiro de Amostragem.....	44
Figura 3.14 – Digitação de Pontos.....	44
Figura 3.15 – Sobreposição de Arquivo .vet.....	45
Figura 4.1 – Evolução da área agrícola utilizando tecnologia de AP para o manejo sítio-específico da fertilidade do solo.....	56
Figura 4.2 – Entrada para tela de georreferenciamento das amostras	63
Figura 4.3 – Seleção do arquivo do Excel formato .CSV que contem as amostras de solo.....	64
Figura 4.4 – Tela de georreferenciamento das amostras de solo e construção dos projetos.....	65
Figura 4.5 – Tela complementar a tela anterior onde pode-se gerar quantos projetos desejar.....	66

Figura 4.6 – Tela onde é gerado o modelo digital do terreno a partir do projeto.....	67
Figura 4.7 – Tela onde se dá acesso à visualização dos mapas.....	67
Figura 4.8 – Tela onde é gerado o modelo digital do cruzamento entre o MDT do Fósforo e da Argila.....	68
Figura 4.9 – Mapa Argila de acordo com o sistema de classificação RS/SC.....	69
Figura 4.10 – Mapa do teor de Fósforo considerando a variação da argila	70
Figura 4.11 – Mapa CTC Total.....	74
Figura 4.12 – Mapa Potássio considerando a variação da CTC do solo	74
Figura 5.1 – Acessos á tela Mapa de Produtividade.....	96
Figura 5.2 – Visualização e filtragem dos dados.....	97
Figura 5.3 – Histograma da distribuição dos pontos sem filtragem.....	97
Figura 5.4 – Histograma da Distribuição dos Pontos com eliminação de valores acima 7.000kg/ha.....	98
Figura 5.5 – Histograma da distribuição dos pontos com valores acima de 5.800 kg/ha.....	99
Figura 5.6 – Distribuição espacial dos pontos com valores de produtividade.....	99
Figura 5.7 – Número de pontos por classes de produtividade.....	100
Figura 5.8 – Mapa de Produtividade com dez classes de produtividade.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Interpretação dos resultados de análise de solo para Fósforo	71
Tabela 4.2 – Interpretação dos teores de Potássio.....	72
Tabela 4.3 – Quantidades de Fósforo e de Potássio a aplicar ao solo para a cultura de soja no RS e SC.....	72
Tabela 4.4 – Níveis de Fósforo na área.....	73
Tabela 4.5 – Áreas das classes de fertilidade e recomendação mais quantidade necessária de Fósforo.....	73
Tabela 4.6 – Classificação dos níveis de Potássio e as respectivas áreas.....	75
Tabela 4.7 – Áreas das classes de fertilidade e recomendação mais quantidade necessária de Potássio.....	75
Tabela 4.8 – Média de Argila e média do teor de Fósforo (Classe3).....	76
Tabela 4.9 – Quantidade de Fósforo para Agricultura convencional.....	76
Tabela 4.10 – Média do CTC a pH 7 (Classe 2 (5 a 15) e Média de K Classe 2 Médio.....	77
Tabela 4.11 – Quantidade de Potássio para Agricultura convencional.....	77
Tabela 4.12 – Comparação entre Agricultura convencional frente à de precisão.....	78

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL.....	14
2.	MATERIAL E MÉTODOS GERAIS	18
2.1.	Localização da área de estudo.....	18
2.1.1.	Município de Santa Maria.....	18
2.1.2.	Caracterização da área de estudo	20
2.2.	Metodologia	21
2.2.1.	Levantamento da área de estudo.....	21
3.	CAPITULO I – GERAÇÃO DE MALHA AMOSTRAL - CAMINHAMENTO PARA COLETA DE DADOS, PELO PROGRAMA CR CAMPEIRO 7	22
3.1.	Introdução.....	22
3.2.	Revisão de Literatura	24
3.2.1.	Malha de Amostragem	24
3.2.2.	Sistema de Posicionamento Global - GPS.....	29
3.2.2.1.	Geóide, elipsóides e o WGS 84	31
3.2.2.2.	DOP: a precisão da medida	32
3.3.	Material e Métodos	33
3.3.1.	Material.....	33
3.3.2.	Metodologia.....	34
3.3.2.1.	Área de trabalho	34
3.3.2.2.	Malha de amostragem de pontos	35
3.3.2.3.	Coleta de amostras	36
3.4.	Resultados e Discussão	36
3.4.1.	Confecção de uma malha de amostragem.....	36
3.5.	Conclusões	45
3.6.	Referências Bibliográficas	46
4.	CAPÍTULO II – MAPA DE FERTILIDADE DO SOLO	50
4.1.	Introdução.....	50
4.2.	Revisão da Literatura	52
4.2.1.	Mapa de Fertilidade do Solo.....	52
4.2.2.	Geoestatística	56

4.2.3.	Sistemas de Informação Geográfica - SIG	60
4.3.	Material e Métodos	62
4.3.1.	Material.....	62
4.3.2.	Metodologia.....	62
4.4.	Resultados e Discussão	68
4.4.1.	Apresentação dos mapas.....	68
4.4.2.	Comparação com agricultura Convencional.....	76
4.4.3.	Calculo P ₂ O ₅ Agricultura Convencional.....	76
4.4.4.	Calculo K ₂ O Agricultura Convencional	77
4.4.5.	Cálculo K ₂ O em Agricultura convencional.....	77
4.5.	Conclusões	78
4.6.	Referências Bibliográficas	80
5.	CAPÍTULO III – MAPA DE PRODUTIVIDADE	84
5.1.	Introdução	84
5.2.	Revisão de Literatura	85
5.2.1.	Agricultura de Precisão	85
5.2.2.	Mapas de Produtividade.....	87
5.2.3.	Obtenção de Mapa de Produtividade	90
5.2.4.	Zonas de Manejo.....	92
5.2.5.	Fontes de erros	93
5.3.	Material e Métodos	95
5.3.1.	Material.....	95
5.3.2.	Metodologia.....	95
5.4.	Resultados e Discussão	96
5.5.	Conclusões	101
5.6.	Referências Bibliográficas	102
6.	CONCLUSÃO GERAL	105

1. INTRODUÇÃO GERAL

Nos últimos anos tem se falado muito em preservação do meio ambiente, por uma questão de sobrevivência. O homem enfrenta um desafio fundamental de garantir as provisões de alimentos e o desenvolvimento sustentável principalmente na agricultura.

O planeta atualmente tem uma área cultivada de 1,5 bilhão de hectares, mesmo assim, não se tem uma produção de alimentos suficiente para atender à demanda. Estima-se que, no ano 2025, a população supere os oito bilhões de habitantes, mas o aumento da área plantada não expandirá no mesmo ritmo e atingirá 1,6 bilhão de hectares.

O suprimento da demanda por alimentos está intimamente ligado ao desenvolvimento da agricultura com base na geração de tecnologia que proporcione aumentos da produtividade das culturas em termos sociais, econômicos e ambientalmente sustentáveis.

A Agricultura de Precisão (AP) chega para auxiliar o desenvolvimento da agricultura, encurtando o caminho para os novos patamares de produtividade, qualidade e sustentabilidade, que são importantes tanto para a economia quanto a preservação da matriz produtiva, ou seja, o solo. É o uso da tecnologia da informação para adequar o manejo dos solos e culturas à variabilidade presente dentro de uma área, ou seja, é o manejo da variabilidade de áreas cultivadas para aumentar o benefício econômico e reduzir o impacto ambiental.

Grandes investimentos foram feitos até hoje, no sentido de entender as indagações dos fatores limitantes da produtividade. Com a AP pode-se encontrar respostas que até então não estavam presentes nos questionamentos; por mais que o conhecimento do manejo das principais culturas venha ocorrendo de forma organizada e haja incorporação rápida das inovações tecnológicas, ainda faltam ferramentas que auxiliem no entendimento dos fatores que comprometem a produtividade. O emprego dessa tecnologia pode fornecer essas informações.

Não se trata de um mero pacote tecnológico, mas sim um sistema de gerenciamento agrícola cuja regra principal é produzir, utilizando-se da variabilidade que o solo e o terreno propiciam e das necessidades de cada cultura. Trata-se de

um novo patamar na evolução do manejo agrícola. Assim, hoje podemos trabalhar com as variações existentes em um mesmo talhão, anteriormente considerado uniforme, para fins de manejo. Esta variabilidade é o primeiro aspecto observado pelo profissional ou produtor quando recebe um trabalho de espacialização de dados de análise de solo ou de verificação de lavoura, provenientes de uma amostragem mais intensiva, em malha de pontos georreferenciada.

A AP tem seu início voltado ao diagnóstico do solo. Desta forma, tem-se o panorama das áreas pela análise espacial de seus atributos físicos e químicos. Estabelece-se uma malha de amostragem de trabalho condizente com as suas especificidades, relacionadas ao tamanho das áreas, relevo e demais conhecimentos técnicos que proporcionam uma avaliação adequada. As informações geradas tenderão a ajudar na tomada de decisões diferenciadas.

A disponibilidade de nutrientes no solo é um dos fatores preponderantes nos processos de produção agrícola e, em grande parte, sua escassez e ou seu desequilíbrio são os principais responsáveis pela não uniformidade da produção nas áreas de cultivo.

Em nossas condições, a solução dos problemas de desuniformidade da fertilidade do solo tende a ganhar maior relevância devido ao seu manejo ser efetuado, muitas vezes, próximo ao limiar da adequação à nutrição das espécies cultivadas.

Em acordo com essas considerações, o avanço da AP tem sido bastante expressivo nessa área, com ótimos resultados ao usuário final da tecnologia. A principal porta de entrada no sistema tem sido pelos mapas de fertilidade, obtidos das amostragens georreferenciadas realizadas em malha. Embora seja divulgada como uma alternativa de custo elevado devido à necessidade de um grande número de análises da fertilidade do solo, essa opção tem a vantagem de ser facilmente adequada à capacidade de investimento do produtor, podendo ser gradativa, e de não exigir investimentos iniciais em equipamentos, o que possibilita conhecer o sistema com um grau de risco de investimento quase nulo.

A fertilidade do solo é de certa forma, um dos fatores de produção em que melhor se aplicam os conceitos de suficiência, sendo facilmente mensuráveis os resultados de testes analíticos e ajustáveis os modelos matemáticos geoestatísticos. Essas características, quando agregadas ao conhecimento agrônomo, vem facilitar

os estudos e análises, proporcionando condições para a verificação de cenários de produção baseados nas disponibilidades de nutrientes.

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

Para Santi (2007) a variabilidade espacial do rendimento observada através do auxílio de mapas de produtividade pode ser reflexo de uma complexa interação de fatores, como os ligados a aspectos fisiológicos da cultura, problemas referentes às intempéries climáticas ou mesmo de atributos referentes à qualidade do solo. A mudança gerada pela AP é a adequada quantificação da variabilidade e a combinação dos responsáveis pela variação no desenvolvimento e na produção das culturas.

As lavouras não são, de maneira nenhuma, uniformes. Os mapas de colheita mostram isso e essa informação tem um valor inestimável, especialmente quando o agricultor pode repeti-los ao longo dos anos, com diferentes variedades, culturas e toda a influência de clima que muda ano após ano. Somente assim é possível se estabelecer alguma conclusão para então se falar em tratamento localizado em cada mancha do talhão. A mecânica desse processo todo já vem sendo dominada. No entanto, é inegável que a dosagem em si e a elaboração dos mapas, especialmente tratamentos fitossanitários, são os grandes desafios para expandir a adoção dessas técnicas (MOLIN, 2000).

Este trabalho foi realizado em uma área de 16,31 hectares situada na Universidade Federal de Santa Maria, RS. Antes do experimento a área era campo nativo, utilizado em atividade de pecuária extensiva.

O presente trabalho tem como objetivo geral a análise da variabilidade espacial de propriedades químicas do solo e da produtividade utilizando tecnologia de AP.

Tem-se ainda como objetivos específicos:

- elaborar um plano de amostragem para avaliação espacial de propriedades físico-químicas de solo, para a área de estudo, por meio de técnicas geoestatísticas;

- avaliar a variabilidade de atributos químicos do solo, em uma área de 16,30 hectares, localizada no *Campus* da Universidade Federal de Santa Maria, município de Santa Maria, RS, gerando mapas correlacionados de Argila com Fósforo, e também CTC com Potássio;

- gerar mapas de produtividade com informações mais próximas possível da realidade.

As operações computacionais foram executadas no ambiente das rotinas específicas para Agricultura de Precisão, do Sistema CR-Campeiro 7, conjunto de programas elaborado no Laboratório de Geomática, concebido e programado pelo Prof. Dr. Enio Giotto, do Departamento de Engenharia Rural, da Universidade Federal de Santa Maria.

Para contemplar os objetivos, esta dissertação foi estruturada em capítulos, nos quais foram abordados os seguintes aspectos relacionados à tecnologia da AP:

Capítulo I – Malha de Amostragem

Capítulo II – Mapa de Fertilidade

Capítulo III – Mapa de Produtividade e Conclusão Geral

2. MATERIAL E MÉTODOS GERAIS

2.1. Localização da área de estudo

2.1.1. Município de Santa Maria

De acordo com o IBGE (2007), Santa Maria localiza-se na região fisiográfica da Depressão Central, próxima à zona denominada de Rebordo do Planalto, a $29^{\circ} 43'$ de latitude sul e $53^{\circ} 49'$ de longitude oeste.

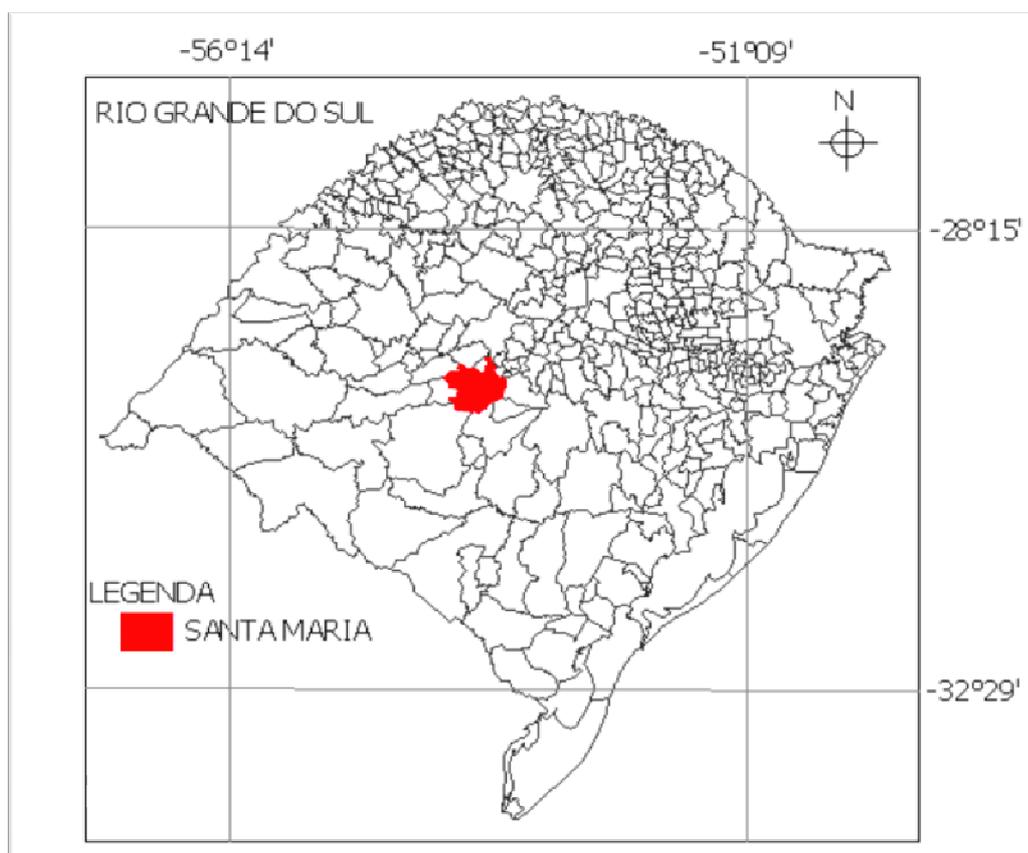


Figura 2.1– Mapa da Localização do Município de Santa Maria
Fonte: IBGE 2007 - <http://www.ibge.gov.br>

O clima local, segundo a classificação de Köeppen, é do tipo Cfa, com precipitação média anual de 1.700 mm e temperatura média anual de 18°C, sendo a média das máximas do mês mais quente 32°C, e a das mínimas do mês mais frio de 9°C (BURIOL et al., 1979 apud PEDRON et al. 2006). De acordo com esse autor, os limites do Município, conforme a Lei Municipal n.º4.120/1997, são: ao norte: municípios de São Martinho da Serra, Itaara, Júlio de Castilhos e Silveira Martins; ao leste: municípios de Restinga Seca e Formigueiro; ao sul: Municípios de São Gabriel, Formigueiro e São Sepé; ao oeste: municípios de Dilermando de Aguiar e São Pedro do Sul. Área geográfica total: 1.774,83 km²; Área urbana: 121 Km² – sede do município; Área rural: 1.653 Km².

Os solos desta unidade de mapeamento são medianamente profundos (1m), com cores Bruno-acinzentadas no horizonte A e bruno-amareladas no horizonte B, apresentando textura média, sendo friáveis e imperfeitamente drenados. O material de origem predominante são siltitos e arenitos. São solos ácidos com saturação por bases baixa no horizonte superficial. Nos horizontes subsuperficiais a CTC e a saturação por bases aumentam. Ocorrem em relevo suave ondulado a ondulado, totalizando 505.000ha no estado do RS (1,87% da área do estado) (REINERT, 2007). O mesmo autor coloca que a fertilidade é natural-moderada. São solos ácidos e apresenta saturação por bases baixa nos horizontes superficiais, muito susceptíveis a erosão- moderada a forte, a falta d'água de ligeira a moderada com boa capacidade de retenção de umidade, mas podendo apresentar deficiência devido à ocorrência de períodos secos, a falta de ar é ligeira a moderada, os solos são moderadamente drenados. Quanto ao uso de implementos agrícolas, são moderados, a má drenagem interna do perfil dificulta a mecanização em épocas chuvosas.

2.1.2. Caracterização da área de estudo

A área de estudo (Figura 2.2) situa-se no *Campus* da Universidade Federal de Santa Maria, com superfície total de 16,30 hectares. Antes do experimento, esta área era campo bruto, utilizado em atividade de pecuária extensiva.



Figura 2.2 – Imagem da localização da área de estudo
Fonte: Google Earth, 2009

2.2. Metodologia

2.2.1. Levantamento da área de estudo

No levantamento da área de estudo, foi medido o perímetro da área da lavoura com aparelho receptor GPS, modelo Etrex-Garmin, que determinou a poligonal de contorno (perímetro) da área com 16,30 hectares.

Posteriormente realizou-se a confecção da malha de amostragem quadrada de 100 m x 100 m (1,00 ha), totalizando 15 pontos, com coordenadas planas E e N, do Sistema de Projeção UTM, Fuso 22.

A conversão, processamento, geração de mapas de fertilidade e mapas de produtividade, relatórios, gráficos, e demais elementos constantes neste, tiveram como base a utilização exclusiva de rotinas do Sistema CR-Campeiro 7 (GIOTTO, 2004).

Na confecção dos mapas, utilizou-se como método geoestatístico o processo de interpolação “krigagem”. Esse método de interpolação estatística leva em consideração a influência da distribuição espacial das amostras para gerar os modelos digitais do terreno.

3. CAPITULO I

GERAÇÃO DE MALHA AMOSTRAL - CAMINHAMENTO PARA COLETA DE DADOS, PELO PROGRAMA CR- CAMPEIRO 7

3.1. Introdução

É uma prática há longo tempo reconhecida que em qualquer estudo de natureza científica o processo de amostragem, a saber, a escolha de parte de um conjunto de componentes ou de fração de material constituinte do todo, é quase sempre o problema que demanda soluções mais intrincadas e criativas. Não obstante, essa dificuldade não é única, visto que o grau de precisão desejado e o custo da amostragem são condicionantes de extrema importância, no delineamento do plano de amostragem.

A amostragem de solo pela forma tradicional, usada para a recomendação de adubação e calagem, não leva em conta as grandes diferenças existentes em uma lavoura. A Agricultura de Precisão (AP) propõe-se a identificar a variabilidade espacial do solo, aumentando a eficiência do gerenciamento da atividade agrícola.

Na AP, diferente da agricultura tradicional, tem-se um nível de detalhamento muito maior porque também o número de amostras coletado é muito maior, representando pequenas glebas dentro do talhão, com área de um a três hectares, dependendo da região do país, pode ter áreas maiores.

A amostragem de solo dentro desse enfoque requer cuidados que vão desde o número de sub-amostras, profundidade de amostragem, formas de amostragem e tamanho do malha amostral. Isso porque, o próprio sistema convencional impõe limites de interferência estatística e alguns pressupostos matemáticos devem ser respeitados quando se quer, a partir dos resultados das análises, gerar mapas com resultados e recomendações espacializados.

A aplicação de técnicas de AP no manejo de fertilidade do solo desperta o interesse dos agricultores, consultores e empresas prestadoras de serviço AP. As áreas cultivadas, quase sempre, apresentam grandes extensões, o que pode ser obstáculo à adoção de estratégias eficientes de manejo localizado da adubação,

pois monitoramento de grandes áreas é feito de forma que se obtenha uma economia de tempo na coleta de amostras e de dinheiro no laboratório de solo, assim o detalhamento ideal da área fica prejudicado, para se obter diagnósticos e intervenções confiáveis.

O processo da AP inicia-se com o intuito de buscar a variabilidade espacial da fertilidade prévia do solo, utilizando para isso uma amostragem programada e criteriosa. De posse de todas as informações obtidas da amostragem, parte-se para o tratamento direcionado da fertilidade do solo, aplicando corretivos e fertilizantes a taxas variáveis, buscando sanar problemas que podem vir a depreciar a qualidade e a produtividade da lavoura por falta ou excesso dos nutrientes essenciais.

Após mapear determinado talhão, faz-se necessária a subdivisão do mesmo em áreas menores para que se possa trabalhar pequenas glebas gerando um número maior de informações sobre a fertilidade local, para isso utiliza-se uma malha sobre o perímetro da área, é o que se denomina de malha ou malha de amostragem. O tamanho da malha depende de alguns fatores como: uniformidade de produção, relevo e histórico da área.

As amostragens de solo em malha são muito usadas, os mapeamentos de plantas daninhas, de condutividade elétrica do solo, de compactação, o acompanhamento do desenvolvimento da cultura por sensoriamento remoto e, de forma mais difundida, o mapeamento de colheita.

Em razão da variabilidade do solo, é necessário estabelecer critério rigoroso de amostragem que permita, a partir de técnicas de amostragem, extrair informações representativas de uma determinada área.

Na pesquisa em AP, esforços têm sido direcionados para caracterizar a variabilidade espacial de atributos que garantam a representatividade das amostras georreferenciadas.

O objetivo do presente trabalho é elaborar um plano de amostragem para avaliação espacial de propriedades físico-químicas de solo, para a área de estudo, por meio de técnicas geoestatísticas. A determinação do tamanho da amostra e do espaçamento entre os pontos amostrais foram determinadas através das rotinas de AP do Sistema CR- Campeiro 7.

Considerando-se que o interesse principal deste trabalho é a geração de um plano de amostragem que apresente características de qualidade bem definidas, um aspecto importante refere-se à configuração da amostra, que terá o formato de

malha e o espaçamento entre os pontos amostrados, ou seja, a distância entre pares consecutivos de pontos. Esses fatores condicionam o valor assumido pela densidade da amostragem, definida como a razão entre o tamanho da amostra e a região amostrada. A densidade foi fixada a partir das informações geradas pelo Sistema CR- Campeiro 7 da Universidade Federal de Santa Maria – RS, produzido no Laboratório de Geomática pelo Prof. Dr. Enio Giotto.

3.2. Revisão de Literatura

3.2.1. Malha de Amostragem

Na maioria dos campos do conhecimento científico, o objetivo é pesquisar características dos elementos de uma população. Uma vez definida a população objeto de estudo, necessita-se escolher a melhor maneira de estudar algumas de suas características. Na maioria das vezes, a população de interesse é demasiadamente grande, tornando-se impossível realizar um levantamento de dados de todos os seus elementos. Neste caso, deve-se delimitar as observações a uma amostra da população, a qual deve reproduzir, o mais fielmente possível, suas características (CARVALHO, 1999).

O primeiro passo em qualquer estudo espacial é a definição do delineamento experimental, que envolve, entre outros procedimentos, a escolha da técnica de coleta de amostras e também da malha de amostragem. A malha de amostragem pode ser do tipo: aleatória, quando a distribuição dos pontos de coleta é casual; agregada ou agrupada, quando ocorrem grupos (cluster) de pontos mais próximos entre si; e regular, quando os pontos estão regularmente espaçados (LANDIM et al., 2002).

Segundo Orlando Filho; Rodella (1983), cerca de 80 a 85% do erro total nos resultados usados na recomendação de fertilizantes e corretivos podem ser atribuídos à amostragem no campo e de 15 a 20% podem ser decorrentes do trabalho de laboratório. Daí a necessidade de um bom plano amostral. A amostragem de solo é um dos procedimentos mais importantes, em qualquer

programa de pesquisa na área, pois de nada valem análises químicas sofisticadas e extremamente rigorosas de suas variáveis, se as amostras coletadas não são representativas da área em estudo (CHUNG et al., 1995).

A amostragem de solo é, portanto, a primeira e principal etapa de um programa de avaliação da fertilidade do solo. O seu objetivo é determinar a sua riqueza em nutrientes e o seu grau de acidez, entre outros. Basicamente, pode ser dividida em três etapas: a) coleta das amostras; b) análise das amostras em laboratório; e c) interpretação dos resultados. É importante lembrar que no laboratório, não se consegue minimizar ou corrigir os erros praticados durante os procedimentos de amostragem. Portanto, caso ocorram, produzirão uma análise inexata, interpretação e recomendação equivocadas, podendo causar prejuízos econômicos ao produtor e provocar impactos ambientais (CANTARUTTI et al., 1999).

Alguns autores têm sugerido que a amostragem em áreas de plantio direto seja feita nas profundidades de 0 a 5 e de 6 a 20 cm, podendo também as amostras ser coletadas na camada intermediária de 6 a 10 cm (Comissão de Fertilidade do Solo, 1994; Instituto Agrônomo do Paraná, 1996).

A amostragem do solo pode ser realizada em malha ou dirigida. A amostragem em malha é o método mais utilizado em AP porque é simples, e requer pouca pesquisa sobre a área, além de existirem softwares que facilitam o processo. Essa amostragem pode ser realizada tendo-se como elementos básicos células ou pontos (MOORE, 2000).

Embora vários métodos tenham sido recomendados para identificar, caracterizar e entender a variabilidade dos atributos dos solos, o procedimento que tem sido mais utilizado para a amostragem sistematizada dos solos é o estabelecimento de grades espaçadas regularmente no campo. Um dos aspectos ainda bastante discutidos refere-se às dimensões das malhas utilizadas nas amostragens sistematizadas dos solos. O tamanho da malha de amostragem é influenciado pela magnitude da variabilidade dos atributos dos solos. Assim, a recomendação do espaçamento das malhas para amostragem de solos pode variar em função da resolução desejada (precisão) associada aos custos (COELHO, 2003).

Este autor comenta ainda que estudos baseados em geoestatística indicam a necessidade de grades amostrais densas; e constantemente chega-se a conclusão que é necessário mais de uma amostra composta por hectare, para que se possa

identificar a variabilidade das áreas, caracterizando sua estrutura espacial mais próxima da real possível.

A coleta e avaliação de grande número de amostras implicam em elevados custos. Desta forma, a quantidade de amostras que seria satisfatória tecnicamente costuma ser bem menor em lavouras comerciais. Na prática tem-se utilizado grades amostrais variáveis, muitas vezes, com quadriculas de dimensão exageradas que não permitem obter dependência espacial dos dados, comprometendo a qualidade das informações sobre as condições de fertilidade da área (MACHADO et al., 2004).

A amostragem de solo é a fase mais crítica para a confecção do mapa de fertilidade, sendo esta, uma importante ferramenta utilizada no auxílio à interpretação de mapas de produtividade. Os solos possuem uma heterogeneidade natural, que tende a ser ampliada pelas práticas de manejo do solo, principalmente pela adubação e calagem e pelo manejo de cultivos na área. A coleta de amostras de solo representativas é essencial para criação dos mapas de fertilidade, que reflitam a realidade do solo em estudo (GIOTTO et al, 2004).

Também segundo o mesmo autor, o espaçamento ideal, entre pontos amostrais, de maneira que se tenha certeza de captar, com um bom nível de precisão, a variabilidade espacial do tema pesquisado, ainda é um assunto de pesquisa, mas com expressividade encontram-se citações de trabalhos com malhas de 1,0 a 5,0 hectares. É do raciocínio lógico que, com espaçamentos menores, ter-se-á maior representatividade, entretanto, o custo da coleta e da análise das amostras poderá inviabilizar o trabalho. Neste sentido, pode-se afirmar que cada caso apresenta suas especificidades, e a experiência do profissional, aliada ao conhecimento do histórico da área, será fundamental na determinação das dimensões da malha amostral.

De uma forma geral, a definição do número de pontos a serem amostrados dependerá dos seguintes fatores, que são abordados de forma diferenciada, de acordo com a metodologia adotada: tamanho da área investigada, qualidade das informações prévias disponíveis, hipótese de distribuição espacial da contaminação, grau de confiança requerido. A definição do número de pontos de amostragem, baseada em um conceito probabilístico, é a técnica que melhor ajusta a investigação ao objetivo predefinido. Pesquisas originárias dos Estados Unidos estimam a probabilidade de detecção de focos esféricos de substâncias poluentes, de acordo com a forma e espaçamento da malha de amostragem (CETESB, 1999).

Dessa forma, segundo Byrnes (1994), na organização de um programa de amostragem para uma área específica, devem ser definidos: objetivos da amostragem de solo, necessidade e utilização dos dados, e programa de amostragem.

A representatividade da malha de amostragem mede o grau no qual as amostras coletadas refletem as condições de uma área em particular. Por exemplo, uma amostra de solo coletada no ponto de maior contaminação de uma determinada área não representa as condições de toda a área, mas apenas fornece uma limitada indicação da magnitude do problema. A distribuição e localização dos pontos de amostragem devem ser adequadas para fornecer a representatividade planejada (CETESB, 1999).

Seguindo ainda com a ideia de planejamento de amostragem, Carvalho; Nicollela (2002) falam que uma prática, a longo tempo reconhecida, é que em qualquer estudo de natureza científica, o processo de amostragem, a saber, é a escolha de parte de um conjunto de componentes ou de fração de material constituinte do todo, e quase sempre o problema que demanda soluções mais intrincadas e criativas. Essa dificuldade não é única, visto que, o grau de precisão desejado e o custo da amostragem são condicionantes de extrema importância no delineamento do plano de amostragem.

Nas ciências do solo, as dificuldades se acentuam hoje se sabe da importância e influência da localização e da conformidade dos pontos selecionados, como também, da distância que os separa, para o sucesso do plano de amostragem. Pontos amostrais próximos têm uma maior probabilidade de serem espacialmente dependentes. Com isso pretende-se enfatizar que, se uma amostra produzirá ou não resultados representativos do conjunto ou da população estudada, depende, essencialmente, se os erros introduzidos pelo processo de amostragem são adequados, de sorte a não invalidar os resultados obtidos (YATES, 1981; CHITOLINA ET AL., 1999).

As estratégias de amostragem são importantes para mapear a variabilidade espacial dos solos, pois só a partir de sua modelagem é possível gerar mapas mais consistentes e com precisão. Assim, o estudo dos aspectos da amostragem do solo, a fim de subsidiar a tomada de decisão para a utilização e recomendação destas técnicas em ambientes distintos, tem sido preocupação constante dos pesquisadores (GROENIGEN et al., 1999; LARK, 2000).

O detalhamento da variabilidade espacial dos atributos da fertilidade do solo é possível conhecendo a posição geográfica dos pontos de amostragem. A partir da ordenação e do processamento desses dados, podem-se visualizar mapas temáticos em diferentes planos, utilizando técnicas de geoprocessamento e geoestatística (LAMPARELLI et al., 2001).

Segundo Stafford et al. (1999), a aplicação de insumos de modo diferenciado em um talhão requer a sua subdivisão em unidades de manejo, definidas como áreas que se apresentam suficientemente uniformes para serem tratadas de modo homogêneo.

Para Wollenhaupt et al. (1994) os custos com amostragem e análise de solo aumentam sobremaneira com densidades de amostragens maiores que duas amostras por hectare, contudo a precisão dos mapas de disponibilidade de nutrientes é aumentada à medida que se diminui a área da célula de amostragem.

Franzen et al. (2006) correlacionaram os níveis de nitrato do solo (10 amostras/ha) com valores dessa mesma variável determinados com os seguintes números de amostras coletados por hectare: 2, 1 e 0,5. Esses autores observaram que os coeficientes de correlação obtidos foram 0,51, 0,35 e 0,16, respectivamente, para as coletadas de 2, 1 e 0,5 amostras por hectare. Assim, observou-se uma imprecisão nas determinações de nitrato no solo para as situações de intensidade de amostragem menores que 10 amostras/ha.

Estudos mostram que, em Latossolos, em áreas de formas côncavas e convexas, independentes do histórico de manejo, há mais variabilidade de atributos químicos e físicos do que em áreas de formas lineares (SOUZA et al., 2004). Isso implica maior número de subamostras naquelas áreas. Portanto, na avaliação da variabilidade espacial, o espaçamento com intervalos menores é necessário em áreas côncavas e convexas, sendo que uma das maneiras de avaliar esta premissa é mediante as técnicas de otimização de amostragem, baseadas em um algoritmo de simulação espacial (GROENIGEN et al., 1999).

Souza et al. (1997) relataram que o conhecimento do alcance da dependência espacial dos atributos do solo pode ser um critério para definir o intervalo das amostragens. Porém, estes valores dependem da escala, da intensidade de coleta e do manejo da área. Portanto, a característica do relevo, como a forma, pode ser de extrema importância na definição de esquemas de amostragem, bem como na definição de zonas de manejo físico e químico do solo. Esta premissa pode ser

aplicada às técnicas de simulação de resultados (GROENIGEN et al., 1999), possibilitando a otimização do número de amostras e transferência de informação para ambientes similares.

Os mapas de otimização de amostragem possibilitam um melhor entendimento do padrão de distribuição espacial, permitindo definir diferentes zonas de manejo (MONTANARI et al., 2005). Estes mapas podem ser de grande utilidade no planejamento experimental e são úteis também como ferramenta nos programas de AP, uma vez que o número de amostras a serem coletadas representa um elevado custo para esses programas (McBRATNEY; WEBSTER, 1983).

3.2.2. Sistema Global de Posicionamento - GPS

O Global Positioning System (GPS) é a expressão abreviada de NAVSTAR GPS - Navigation System with Time and Ranging Global Positioning System. É um sistema de radio navegação baseado em satélites desenvolvido e controlado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (U.S.DoD) que permite, a qualquer utilizador ou usuário munido de receptor específico, saber a sua localização, velocidade e tempo, 24 horas por dia, sob quaisquer condições atmosféricas e em qualquer ponto do globo terrestre (SILVA, 2003).

Um dos requisitos para a aplicação da AP é a utilização de um sistema de posicionamento que permita a localização georreferenciada com precisão suficiente em todos os pontos e porções escolhidas dentro da área agrícola.

Conforme mostra a Figura 3.1, o GPS consiste da triangulação de um conjunto de satélites, composto de 24 satélites, que, através do cálculo da distância entre eles, baseada na diferença de tempo de transmissão dos sinais entre o receptor do usuário e os satélites, determinam o posicionamento terrestre. No mínimo, são necessários três satélites para o posicionamento, porém para aumentar a precisão de tempo e posicionamento, normalmente os receptores utilizam quatro satélites (MOLIN. 1998).

ferramentas tem detido um pleno avanço da AP no Brasil. Para que se possa usar um GPS para fins de AP, é necessário que esse tenha acurácia de, no mínimo, 2 m, sendo essa suficiente para a maioria das aplicações; em algumas aplicações agrícolas, pode ser necessária acurácia maior. A grande variabilidade de solos e condições num mesmo talhão da fazenda é tratada diferentemente e, para tanto, é necessário que o GPS produza dados confiáveis e consistentes (BALASTREIRE, 2001).

3.2.2.1. Geóide, elipsóides e o WGS 84

Com a criação e aperfeiçoamento do GPS nas últimas décadas houve um avanço tecnológico significativo nas áreas de Geodésia e Cartografia. As técnicas de posicionamento de um ponto na superfície terrestre ou fora dela em relação a um referencial têm melhorado no sentido de que precisões cada vez maiores sejam atingidas (BERNARDI; LANDIM, 2002).

Elipsóide é a figura matemática que imita a forma real da Terra. Sua finalidade é possibilitar cálculos que seriam impossíveis para a superfície disforme do globo terrestre (SILVEIRA, 2005).

Geóide etimologicamente significa “forma da Terra” que é definida pela linha do prolongamento do nível médio dos mares nos continentes. É a representação mais próxima da realidade física expressa pelo campo gravitacional terrestre. Sendo uma superfície definida a partir do campo de gravidade, o geóide tem intrínseca relação com a determinação de altitudes. As altitudes determinadas com base nesta superfície, denominadas altitudes ortométricas, são utilizadas nas curvas de nível do mapeamento sistemático brasileiro (SILVEIRA, 2005).

A forma do geóide está diretamente relacionada ao campo da gravidade da Terra. No entanto, o elipsóide é uma superfície matemática com a forma e dimensões próximas ao geóide e utilizado nos levantamentos geodésicos como uma superfície de referência no posicionamento horizontal. Estas superfícies, geralmente, não são coincidentes e nem paralelas e esta separação entre a superfície do geóide e a do elipsóide é denominada como ondulação ou separação geoidal N. Esta

ondulação pode atingir até dezenas de metros. A inclinação dessas superfícies, em casos extremos é de até $1'$ (um minuto de arco) (GEMAEL, 1999).

É importante observar que a determinação das coordenadas geográficas de um ponto depende de um sistema de referências. Como a Terra não é uma esfera perfeita, foram criados vários sólidos imaginários (elipsóides) que procuram melhor representar a forma real da Terra. Os valores que definem um elipsóide (eixo maior, eixo menor, ponto central e orientação dos eixos) formam um “datum”. Um mapa apresenta suas coordenadas sempre em relação a um determinado “datum”. O mais utilizado atualmente (inclusive pelo GPS), e que mais se aproxima globalmente do Geóide, é o “World Geodetic System”, criado em 1984 (WGS-84). A utilização de coordenadas GPS em um mapa baseado em outro “datum” exige a conversão de coordenadas; caso contrário, podem ocorrer erros significativos (PAZ, 1997)

O sistema de navegação por satélites GPS utiliza o World Geodetic System 1984 (WGS84) como referência, que é um grupo lógico de parâmetros que descrevem o tamanho e a forma da Terra, as posições de uma rede de pontos em relação ao centro de massa da Terra, transformações dos principais data geodésicos e o principal da Terra (em geral em termos de coeficientes harmônicos) (COSTA, 2000).

O WGS84 é a quarta versão de sistema de referência geodésico global estabelecido pelo U.S. Department of Defense (DoD) desde 1960 com o objetivo de fornecer o posicionamento e navegação em qualquer parte do mundo, através de informações espaciais (MALYS; SLATER, 1994). Na época de sua criação o sistema fornecia precisão métrica em função da limitação fornecida pela técnica observacional utilizada, o posicionamento Doppler. Por esta razão, uma série de refinamentos foi aplicada ao WGS84 nos últimos anos com o objetivo de melhorar a precisão de sua versão original (NIMA, 1997). Atualmente, o WGS84 está adequado ao sistema SIRGAS2000, adotado para todo o continente americano.

3.2.2.2. DOP: a precisão da medida

As principais fontes de erros para o posicionamento, ao se utilizar do sistema GPS são a disposição geométrica dos satélites, o efeito do multicaminhamento, o

erro do relógio do receptor GPS, a interferência da ionosfera e o erro orbital do satélite. Afirmam, ainda, que a acurácia do sistema depende de vários fatores, dentre eles: configuração do sistema GPS no momento do posicionamento; frequência do sinal GPS utilizado para o posicionamento (L1, L2 ou C/A); configuração do receptor GPS, como taxa de aquisição, máscara de elevação, etc.; interferência do multicaminhamento no sinal GPS, e o método utilizado para a correção diferencial (satélite, rádio, pós-processado) (BAIO et al., 1998).

Fatores referentes à disposição relativa dos satélites, no instante em que seus sinais são captados por um receptor, que definem a chamada “diluição de precisão” (“dilution of precision”, ou DOP), interferem na precisão. Quanto mais espalhados no céu estiverem os satélites, mais precisa é a determinação da posição do receptor (PAZ, 1997)

Corroborando com esta afirmação, Souza, (2005) cita que a geometria formada pela distribuição dos satélites em relação ao receptor influencia na precisão do posicionamento. Ela pode ser avaliada através dos fatores DOP (“Dilution of Precision”): HDOP – usado para avaliar o posicionamento horizontal, VDOP – usado para avaliar o posicionamento vertical, PDOP – usado para avaliar o posicionamento tridimensional, TDOP – usado para avaliar a determinação do tempo.

O fator mais utilizado é o PDOP, definido como o inverso do volume de um tetraedro formado pelas posições do usuário e de 4 satélites. Quanto maior o volume do tetraedro, menor o fator PDOP e melhor a acurácia do posicionamento. Ou seja, quanto mais espaçados entre si estiverem os satélites, melhor será a precisão (SOUZA, 2005).

3.3. Material e Métodos

3.3.1. Material

- GPS Etrex Garmin
- Software CR- Campeiro 7

3.3.2. Metodologia

A aquisição dos dados foi feita com um receptor GPS Garmin Etrex, usando a ferramenta de registro de pontos por trilha, assim os pontos foram registrados de forma automática e o receptor foi programado para registrar um ponto a cada 3 segundos.

Após o término da coleta das coordenadas, as informações foram passadas para o computador usando uma conexão disponível do software CR-Campeiro 7. Essas informações foram registradas em arquivo de texto, e em seguida transformadas para arquivo do tipo vetorial.

Ao iniciar o Programa de computador CR-Campeiro 7 fez-se o registro do proprietário, da propriedade, do lote ou talhão, e o cadastro espacial.

O cadastro espacial é feito usando o arquivo vetorial (**.vet**), que é um arquivo de coordenadas georreferenciadas. Esse arquivo guarda o registro dos pontos em coordenadas no formato UTM, nele cada linha representa um ponto no espaço que nesse caso trata-se da superfície terrestre.

Com as relações feitas entre propriedade e local de trabalho fez-se a malha de amostragem mostrando todas as possibilidades que o programa de computador CR-Campeiro 7 dispõe ao usuário.

3.3.2.1. Área de trabalho

A área objeto deste trabalho localiza-se no município de Santa Maria, no interior do *Campus* da Universidade Federal de Santa Maria, entre as coordenadas $-29^{\circ} 43' 15,67''$ e $-29^{\circ} 43' 32,30''$ de latitude, e entre $-53^{\circ} 45' 18,27''$ e $-53^{\circ} 44' 56,17''$ de longitude, e refere-se a campo de experimentação agrícola, de uma lavoura de soja, com 16,30 hectares.

3.3.2.2. Malha de amostragem de pontos

A malha de amostragem de pontos foi confeccionada a partir das rotinas do Sistema CR-Campeiro 7. Entre as funções de AP do Sistema Campeiro, está a estruturação, em intervalos pré-fixados, de uma malha de amostragem de solos, a qual é definida com parâmetros de georreferenciamento, sendo então possível, a campo, com um emprego de GPS, efetuar-se a coleta das amostras, nos pontos selecionados.

Estruturou-se uma malha de amostragem de tamanho regular, a cada 01 (um) hectare com identificação dos pontos amostrais pelas coordenadas planas (latitude e longitude), utilizando o GPS (Figura 3.2).

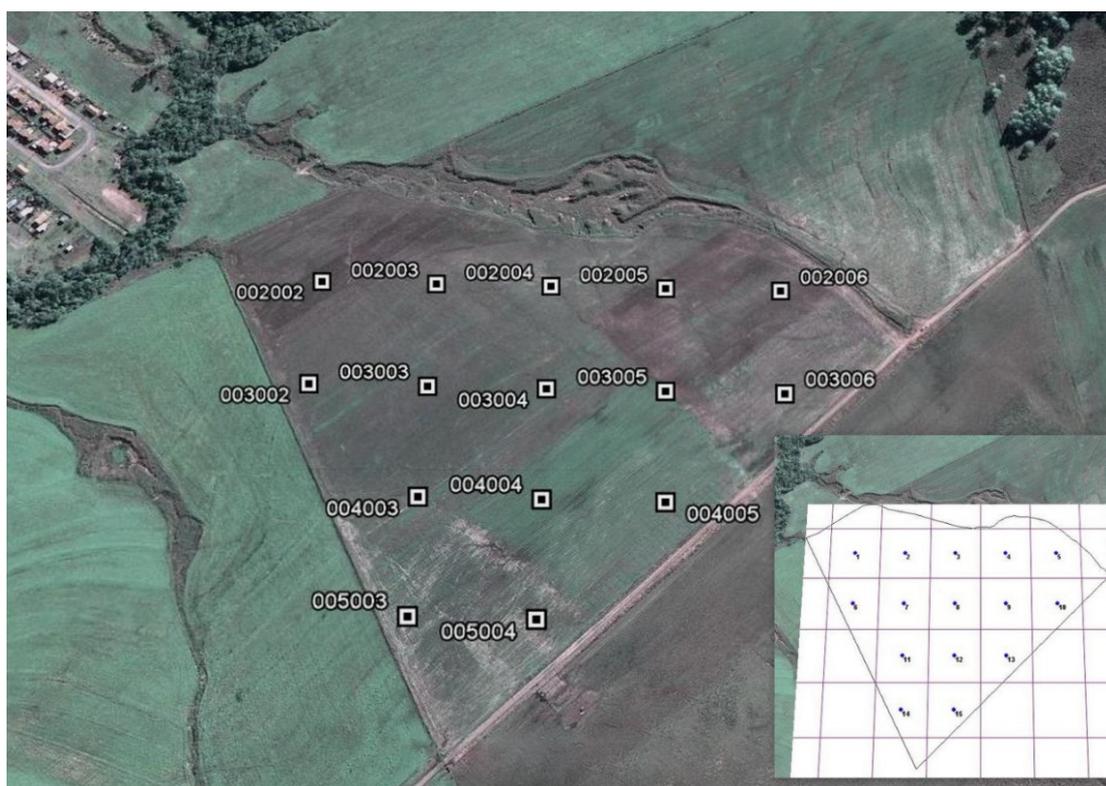


Figura 3.2 – Imagem com a visualização da malha de amostragem
Fonte: Google Earth, 2009

3.3.2.3. Coleta de amostras

Após o levantamento planimétrico da área se estruturou uma malha de amostragem do solo. A coleta das amostras foi realizada com pá-de-corte na profundidade de 0,2 m, sendo uma subamostra no ponto principal e mais quatro subamostras com espaçamento médio de 2 m ao redor de cada ponto principal. Posteriormente as amostras foram misturadas e colocadas em um saco plástico com peso médio de 1,5 kg onde foram devidamente identificadas.

As amostras foram analisadas pelo Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal de Santa Maria.

3.4. Resultados e Discussão

3.4.1. Confecção de uma malha de amostragem

O presente trabalho apresenta um tutorial para gerar malhas de amostragem visando a coleta de dados a campo, com o objetivo de formular um material didático direcionado ao público que usa o Sistema CR-Campeiro 7 (C7) assim como difundir ao máximo a AP, entendendo que esta é uma técnica recente, que contribui com a preservação do meio ambiente, otimiza o uso de insumos na produção agrícola e, conseqüentemente, melhora a renda das unidades de produção e eleva a qualidade de vida no meio rural brasileiro.

O sistema CR-Campeiro 7 (C7) trabalha de forma conjunta com o cadastro de produtores e suas propriedades, dessa forma esse tutorial começará por mostrar o cadastro de produtores seguido pelo cadastro de propriedades.

O cadastro tem início na aba Cadastro de Produtores (Figura 3.3), ao clicar no

botão Novo Registro de Produtor , em seguida devem-se preencher os dados,

e, por fim, um clique no botão Registro de um novo produtor  para se fazer o registro das informações.

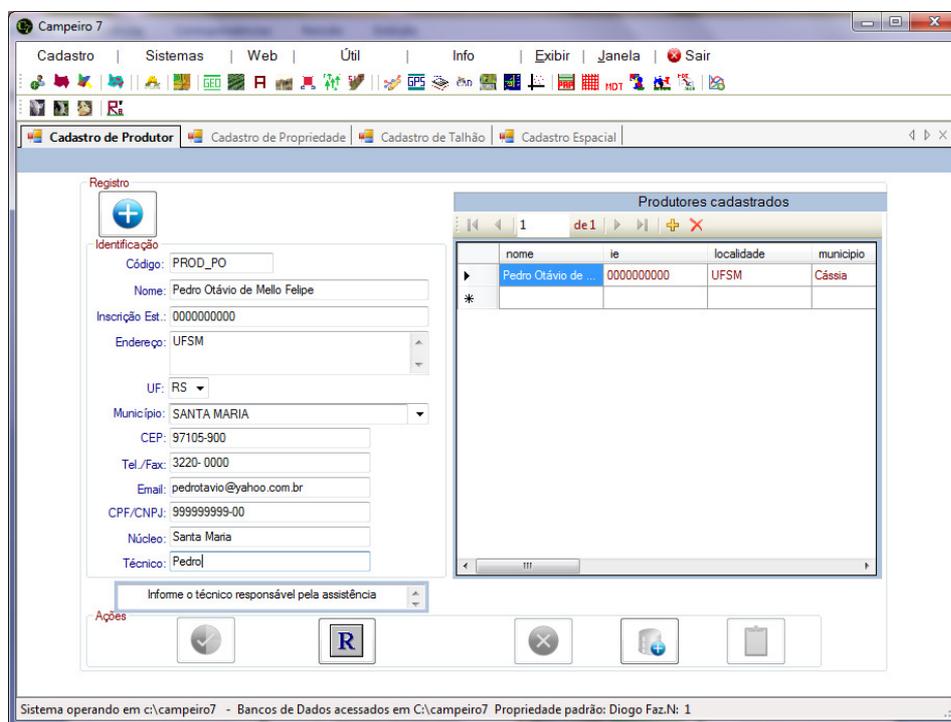


Figura 3.3 – Tela de Cadastro de Produtor

O passo seguinte é fazer o cadastro da(s) propriedade(s) desse produtor (Figura 3.4).

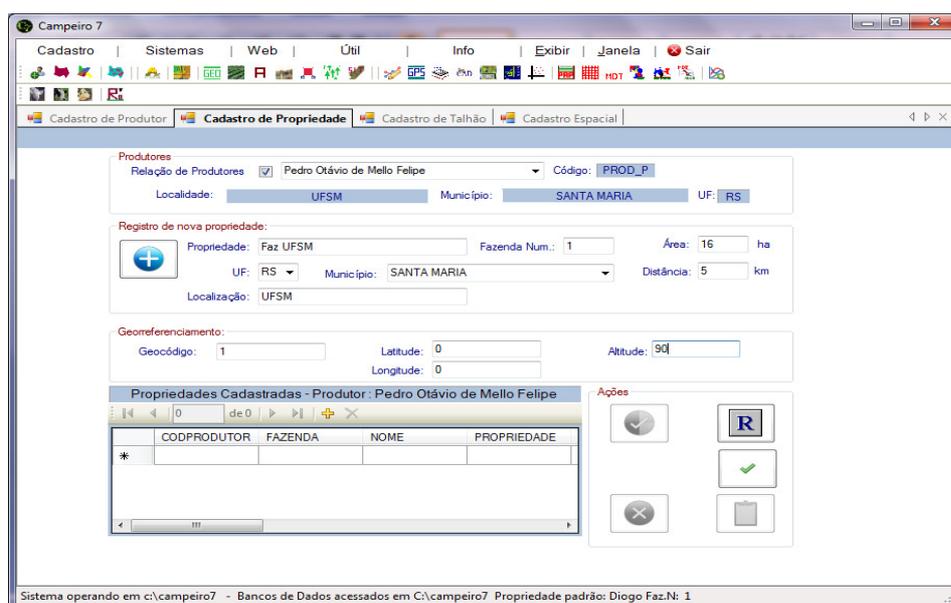


Figura 3.4 – Tela de Cadastro de Propriedade

Deve-se marcar Relação de Produtores  e selecionar o Nome do Produtor. Na sequência, clicar no botão novo Registro de Propriedade , preencher os dados da propriedade e clicar no botão Registro de nova propriedade . É importante saber que o geocódigo deve ser um número igual ao da Fazenda; no exemplo acima é o número 1.

Na aba Cadastro de Talhão (Figura 3.5), faz-se a busca do proprietário e sua propriedade, para em seguida fazer o cadastro de talhões da propriedade selecionada. Clicando em Cadastro de um novo talhão , e, após o preenchimento das informações, clicar no botão Registro de um novo talhão .

Na aba seguinte faz-se o cadastro espacial, isto é, associa o levantamento georreferenciado da área ao cadastro anteriormente feito.

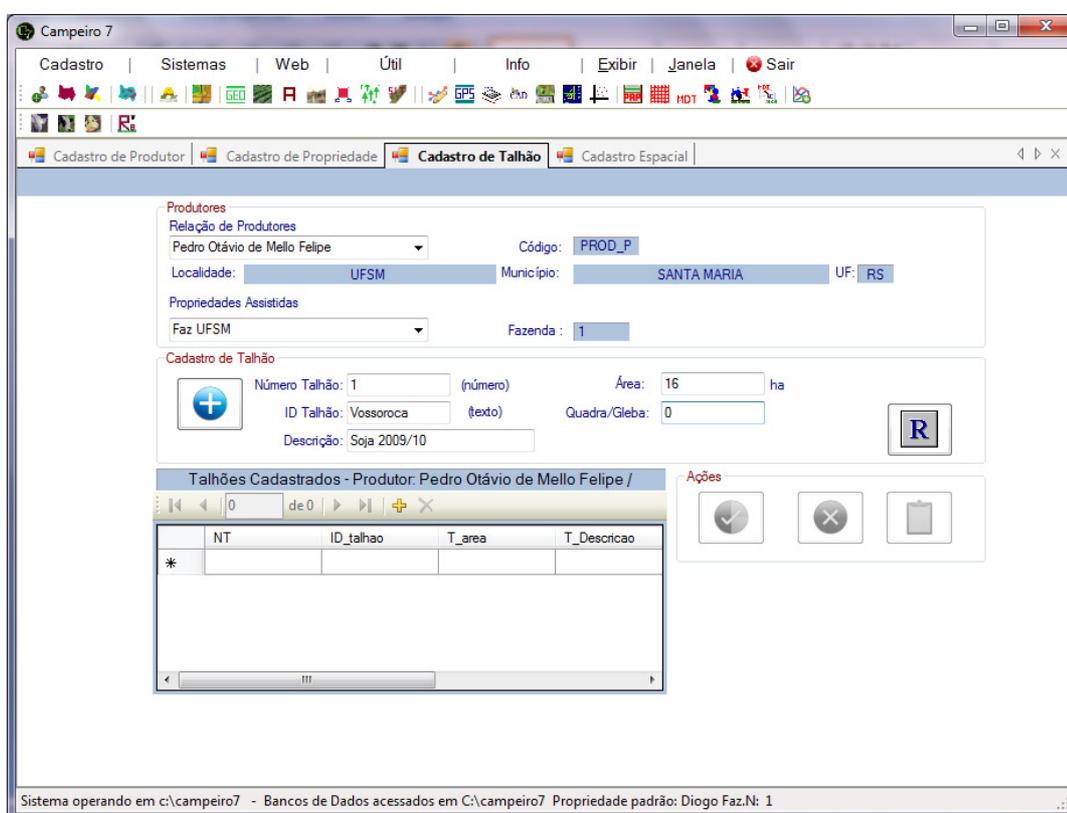


Figura 3.5 – Tela de Cadastro do Talhão

O Cadastro Espacial (Figura 3.6) deve ser feito usando os seguintes passos: buscar o proprietário, e depois a propriedade, em seguida, marcar o tipo de arquivo (Ex.: vet, shape), buscar esse arquivo na pasta onde foi salvo; assim o polígono será visualizado como na Figura 3.6, e, por fim, indicar o que esse polígono representa (Ex.: talhão, propriedade, Área de Preservação Permanente, etc.), e, para terminar, clicar o botão Registrar .

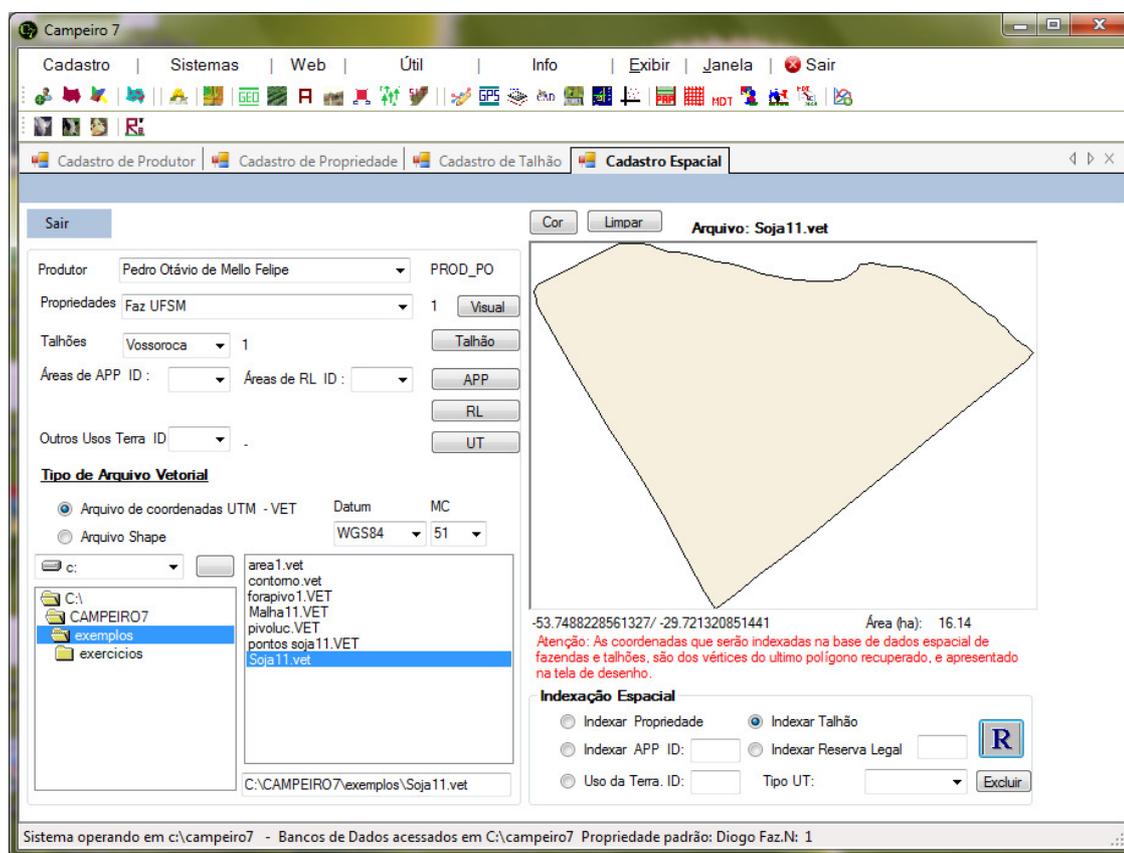


Figura 3.6 – Tela de Cadastro Espacial

A Figura 3.7 mostra a tela inicial do Programa C7, indicando a sequência para acessar a rotina de AP, onde se encontra a rotina de Malha de Amostragem:

1. Seleciona-se a rotina Agricultura de Precisão



Figura 3.7 – Tela de acesso à rotina de AP do CR Campeiro 7

2. Clica-se no botão Malha de Amostragem (Figura 3.8), acessa-se a janela Amostragem de Pontos (Figura 3.9)



Figura 3.8 – Tela do Sistema de AP

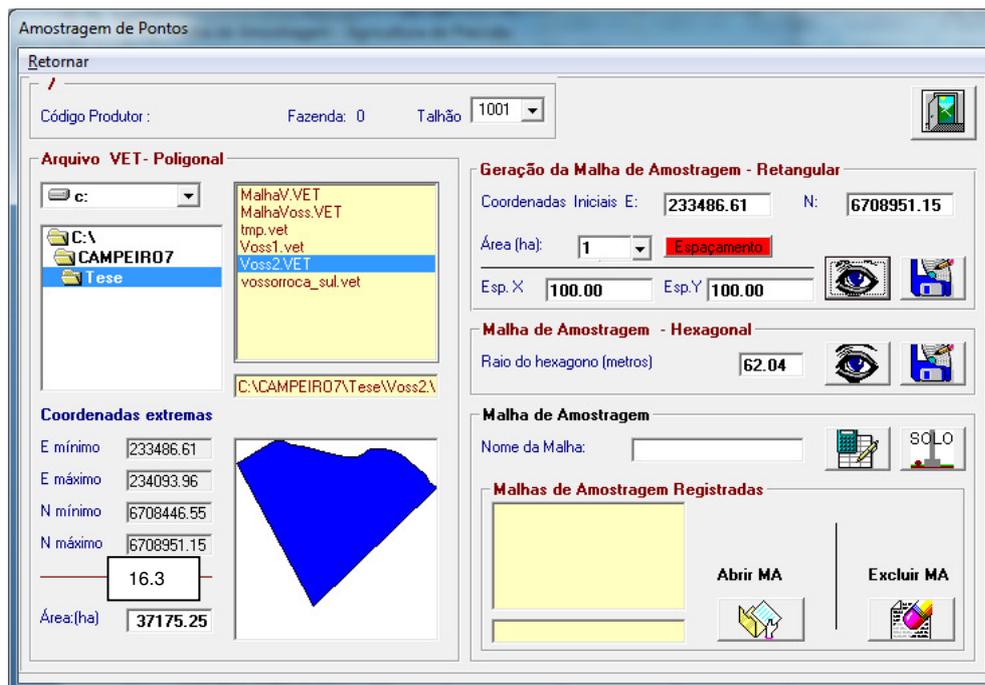


Figura 3.9 – Tela de confecção da malha de Amostragem de Pontos

Selecionar o tamanho da área da malha e, em seguida, clicar no botão Visualizar Malha de Amostragem  e será possível visualizar a disposição dos pontos na área (Figura 3.10).

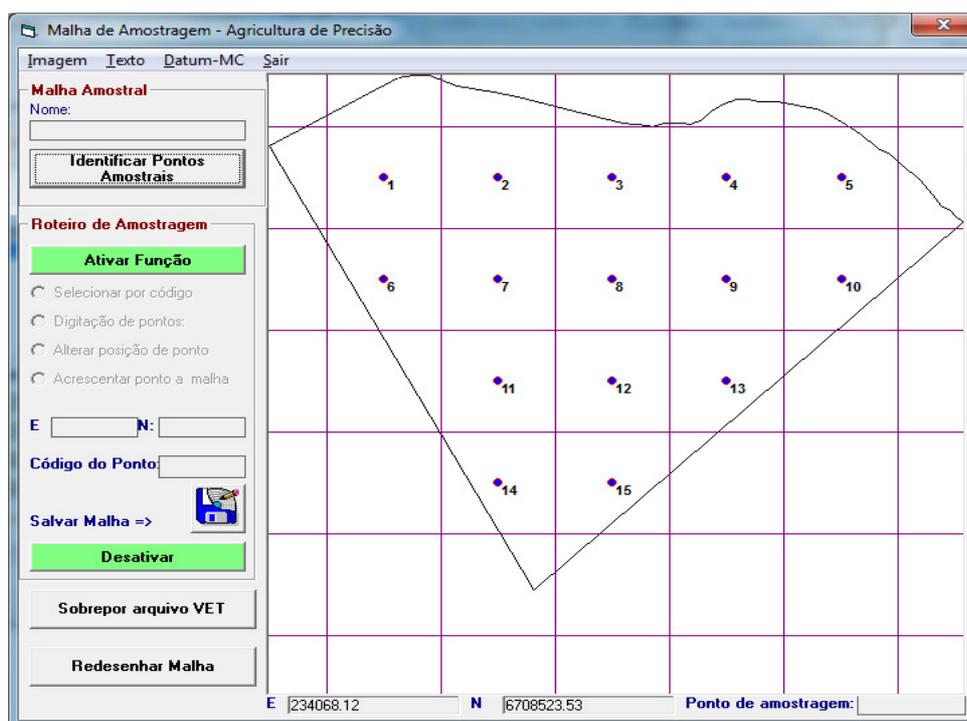


Figura 3.10 – Tela de Visualização da Malha de Amostragem de Pontos

O programa possibilita ao usuário criar qualquer formato retangular de malha, bastando apenas digitar as dimensões do retângulo nos campos Esp **x** e Esp **y**, em seguida clicar em espaçamento e no botão “Olho”, logo será exibida uma janela como a Figura 3.10, exibindo o malha com as dimensões estabelecidas previamente.

Além de salvar as coordenadas dos pontos em um documento **.txt**, tem-se a possibilidade de salvar o mapa da área em 4 formatos de arquivos, **.pdf**, **.rtf**, **.xls** ou **.doc** (Figura 3.11).

A imagem do mapa da área indica o posicionamento dos pontos amostrais e, no arquivo de texto, salvo pelo programa, estão: na primeira linha, a indicação da quantidade de pontos. Nas restantes, estão as coordenadas planimétricas no sistema UTM de todos os pontos amostrais, as coordenadas geográficas e um código do ponto determinado pelo programa. Neste caso, as coordenadas UTM são referentes ao fuso 22, cujo meridiano central é o de $-51^{\circ}00'00''$ e são escritas no arquivo na mesma ordem que os pontos estão expostos no mapa, ou seja, linha 2 corresponde ao ponto 1, linha 3 ao ponto 2 e assim sucessivamente.

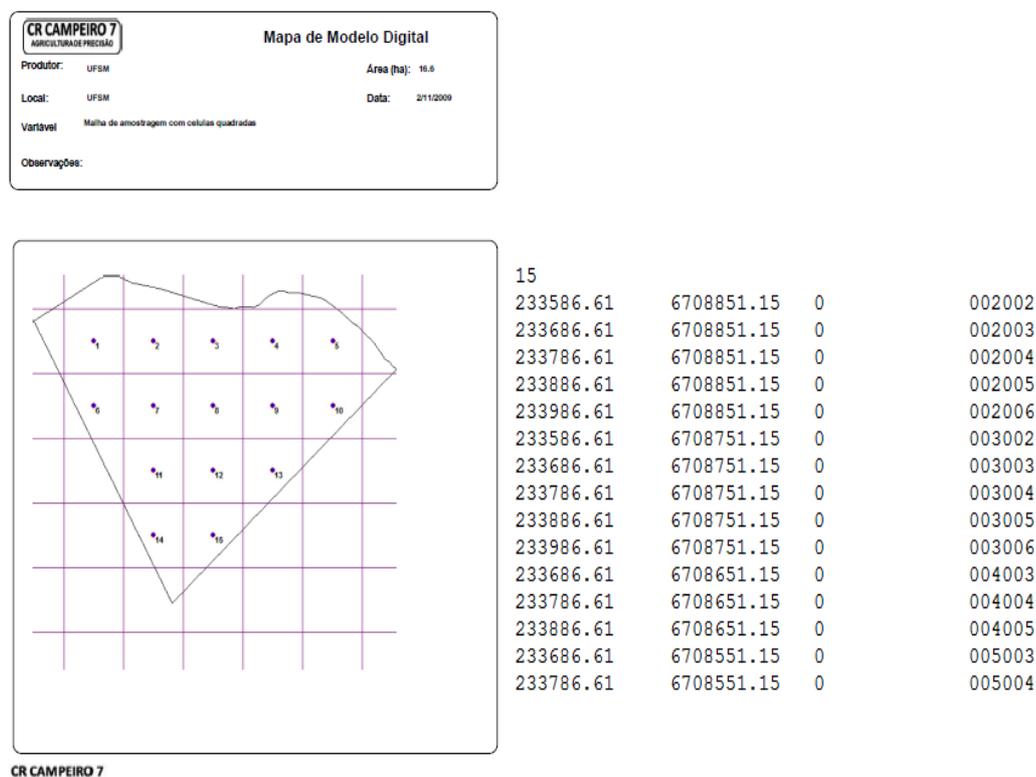


Figura 3.11 – Mapa do Modelo Digital da Malha de Amostragem em Arquivo PDF e Arquivo de texto (.txt) das Coordenadas dos pontos da malha.

Pode-se também obter uma malha de formato hexagonal que pode ser definida pelo tamanho da área ou pelo tamanho do raio do hexágono (Figura 3.12)

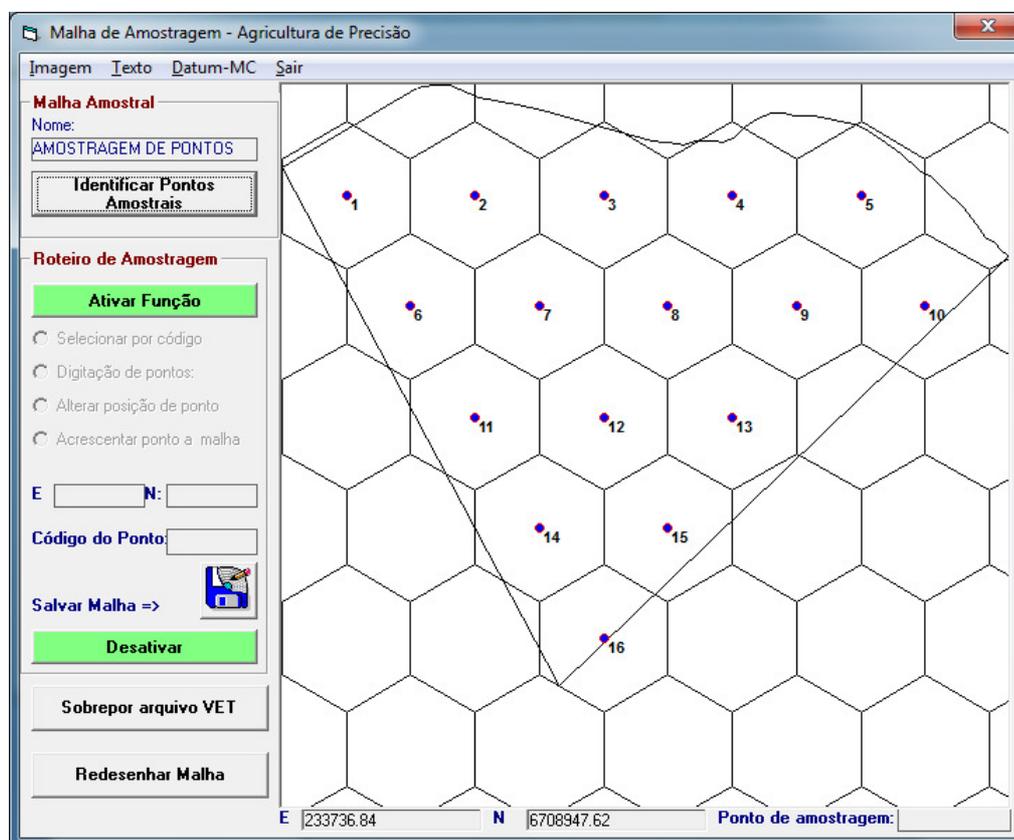


Figura 3.12 – Visualização da Malha Hexagonal com identificação dos pontos amostrais.

A depender do conhecimento prévio da área, pelo técnico, o programa C7 possibilita a elaboração de um plano de atuação para coleta de amostras (Figura 3.13). Selecionando a opção Digitação de Pontos tem-se a opção, ao clicar sobre o mapa, assim pode-se criar um caminho, um plano de rota dentro da área de trabalho.

Em um caso hipotético da lavoura estar localizada em uma área fechada, a entrada e saída são feitas em um único ponto, conforme Figura 3.14. A Figura 3.13 mostra a situação de um caminho que poderia ser realizado na prática. A área em questão é aqui chamada de Voçoroca Sul.

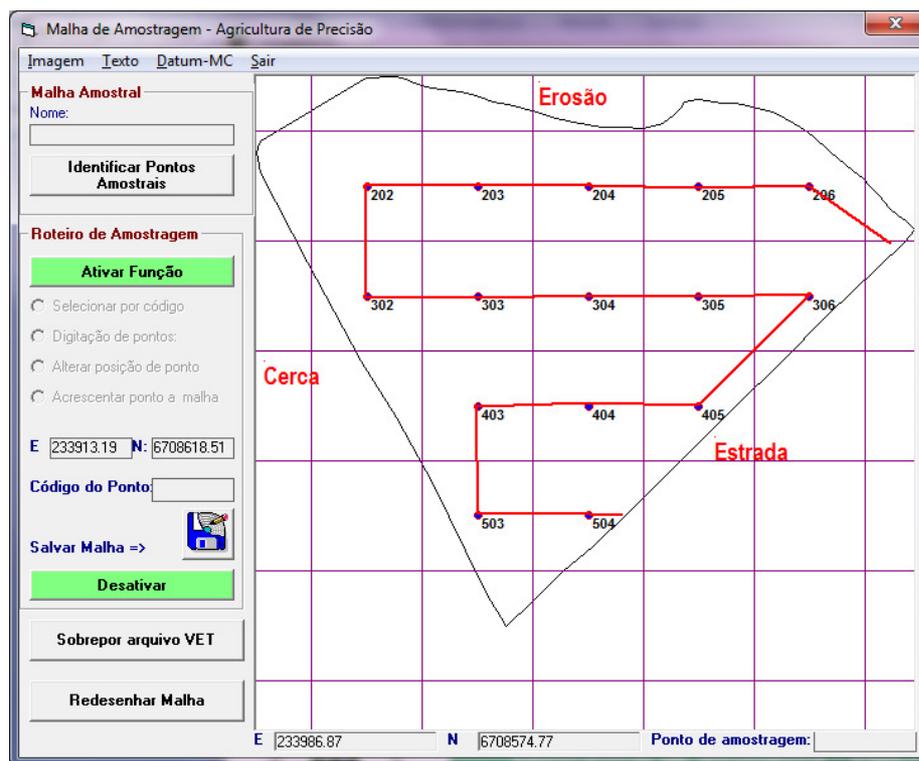


Figura 3.13 – Roteiro de Amostragem

O procedimento para traçar um caminho (Figuras 3.13 e 3.14) é o seguinte: na mesma rotina para confeccionar a malha de amostragem de pontos, clica-se em Ativar Função (botão em verde) e também em Digitação de Pontos. O caminho é feito através de cliques sobre a área. Ao final, deve-se salvar, da mesma forma que se salva uma malha de amostragem, clicando no botão ilustrado com um disquete.

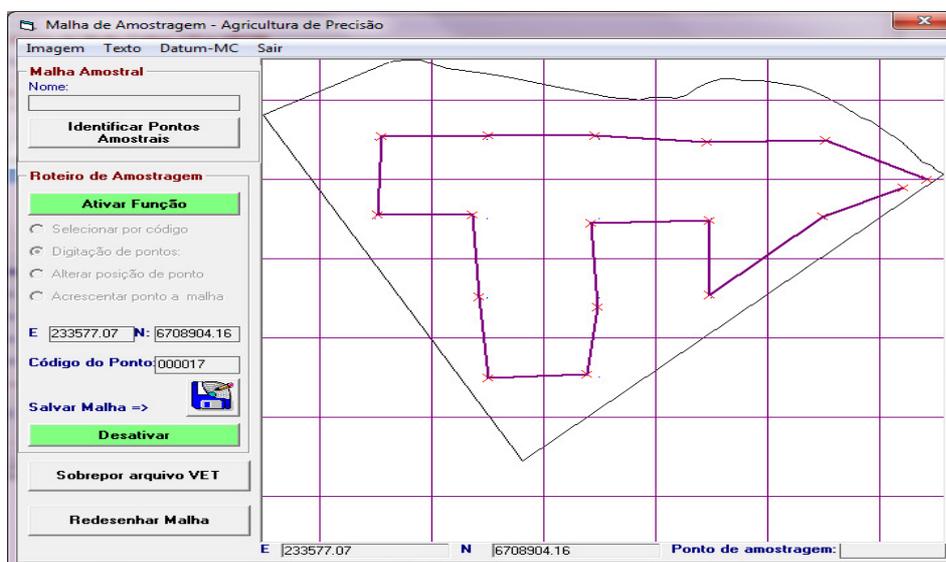


Figura 3.14 – Digitação de Pontos

A visualização do caminho é feita buscando-se o arquivo do plano, que foi salvo em pasta do usuário, através da função Sobrepor Arquivo **.vet**. Logo, basta buscar o arquivo na pasta, escolher uma cor para linha ou caminho, por meio do botão Atribui cor , selecionar Linhas e então clicar o botão Limites (Figura 3.15).

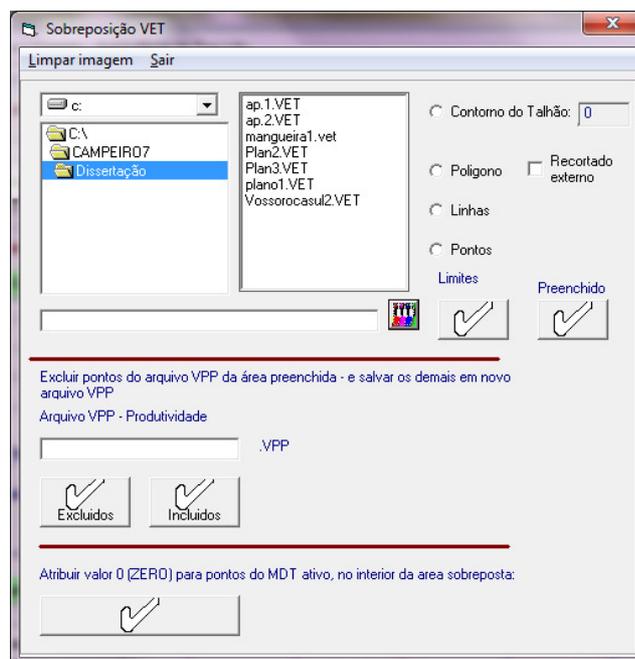


Figura 3.15 – Sobreposição de Arquivo vet.

3.5. Conclusões

A partir do objetivo que se propôs, conclui-se que: amostras de boa qualidade georreferenciadas podem possibilitar a confecção de mapas que propiciam visualizar a variabilidade da fertilidade do solo que existe dentro de uma unidade produtiva.

A subdivisão de um talhão em áreas menores muda a forma de gerenciamento da lavoura; com o maior volume de dados adquiridos, o produtor tem a possibilidade de fazer uma administração mais elaborada e, fundamentalmente, mais eficiente.

A elaboração de um plano de amostragem para avaliação espacial de propriedades físico-químicas de solo, através de uma rotina simples do sistema CR-Campeiro 7 de construção de malha de amostragem, pode contribuir de forma relevante para a diminuição do custo de coleta de amostras, como também para a melhor qualidade dessas amostras.

Referências Bibliográficas

BAIO, F.H.R.; ÂNGULO FILHO, R.; VETTORAZZI, C.A.; RAFFO, J.G.G.; ELIAS, A.I. Estudo da exatidão de um GPS operando em duas taxas de aquisição de dados. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, Poços de Caldas, 1998. **Anais...** Lavras: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p. 347-9.

BALASTREIRE, L.A. Avaliação do desempenho de um sistema de georreferenciamento portátil de baixo custo para Agricultura de Precisão. In: Avanços na agricultura de precisão no Brasil no período de 1999-2001, 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: 2001. p. 282-4.

BERNARDI, J. V. E.; LANDIM, P. M. B. **Aplicação do Sistema de Posicionamento Global (GPS) na coleta de dados.** DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 10, 31 p. 2002. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 17. out. 2009

BLITZKOW, D. Navstar/GPS: um desafio tornado realidade. In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, 3, 1995, São Paulo. **Anais.** São Paulo, 1995.

BYRNES, M. E. In: **Field sampling methods for remedial investigations.** Boca Raton – Florida: CRC Press, Inc., 1994

CANTARUTTI, R. B.; ALVAREZ V., V. H.; RIBEIRO, A. C. Amostragem do solo. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (eds.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5a Aproximação.** Viçosa, MG, 1999. p. 13-20

CARVALHO, J. R. P. de. **Amostragem de solo em plantio direto para aplicação em agricultura de precisão.** Campinas: Embrapa-CNPTIA, 1999. 4 p.

CARVALHO, J. R. P. de; NICOLLELA, G. Uso de Geoestatística na Definição de Plano de Amostragem em Levantamento de Parâmetros do Solo – Uma Proposta. In: Campinas: **Embrapa Informática Agropecuária**, 2002. 17 p.: il. — Documentos 15 Embrapa Informática Agropecuária ISSN 1677-9274. Campinas, SP, 2002.

CETESB - **GTZ: 6300 Amostragem do solo.** 1999. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/anexos/download/6300.pdf>, Acesso em: 20 ago. 2009.

CHITOLINA, J. C.; PRATA, F.; SILVA, F. C. da; MURAOKA, T.; VITTI, A. C. Amostragem, acondicionamento e preparo de amostras de solo para análise de fertilidade. In: SILVA, F. C. da (Org.). **Manual de análises químicas de solo, plantas e fertilizantes.** Brasília: **Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia**; Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 1999. 370 p.

CHUNG, C. K.; CHONG, S. K.; VARSA, E. C. Sampling strategies for fertility on a stoy silt loam soil. Communications In: **Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 26. n. 5/6, p. 741-763, 1995.

COELHO, A. M. Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. **Tópicos em ciências do solo**. Viçosa, v. 3, p. 249-290, 2003.

FRANZEN, D.W.; NANNA, T.; NORVELL, W.A. A survey of soil attributes in North Dakota by landscape position. **Agronomy Journal**, Madison, v. 98, p. 1.015-22, 2006.

GEMAEL, C. **Introdução à Geodésia Física**. Ed. da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1999.

GIOTTO E.; ROBAINA A. D.; SULZBACH L. **A agricultura de precisão com o Sistema CR-Campeiro 6**, FATEC/UFSM, 2004, 330p.

GROENIGEN, van J.W. et al. **Contrained optmisation of soil sampling for minimisation of the kriging variance**. Geoderma, Amsterdam, v. 87, n. 3-4, p. 239-259, 1999.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H. e COLLINS, J. Global, 1997.

LAMPARELLI, R.A.C.; ROCHA, J.V.; BHORGUI, E. **Geoprocessamento e agricultura de precisão - Fundamentos e Aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2001. v. 1. 118 p.

LANDIM, P.M.B., MONTEIRO, R. C.& CORSI, A.C. **Introdução á confecção de mapas pelo software SURFER**. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 08, 21 pp. 2002. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 17 out 2009.

LARK, R.M. **Designing grids from imprecise information on soil variability, an approach based on the fuzzy kriging variance**. Geoderma, Amsterdam, v. 98, n. 1-2, p. 35-39, 2000.

LEMOS S. G.; NOGUERIA A. R. A.; TORRE-NETO A. A agricultura na era da informação: desafios e propostas para automação em análises de solos **Revista Analytica**, Dezembro/Janeiro 2004, Nº 08 p. 42-50

MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A.; BERNARDI, A. C. C. et al. Variabilidade de atributos de fertilidade e espacialização da recomendação de adubação e calagem da soja. In: MACHADO, P.L.O.A.; SILVA, C. A.; BERNARDI, A. C. C. {Eds.} **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p. 115-129.

MALYS, S.; SLATER J.. **Maintenance and Enhancement of the World Geodetic System** 1984, Proceedings of ION-94, The Seventh International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, Salt Lake City, pp. 17-24, 1994.

McBRATNEY, A.B.; WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties? **Soil Science**, Baltimore, v. 135, n. 3, p. 177-183, 1983.

MONTANARI, R. et al. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 1, p. 69-77, 2005.

MILLER, W.; SUPALLA, R. Precision farming in Nebraska: **A status report**, 1996. Disponível na Internet. <http://ianrwww.unl.edu/pubs/farmmgmt/nf305.htm> em. 21 Ago. 2009.

MOLIN, J. P. Utilização de GPS em Agricultura de Precisão. **Engenharia Agrícola**, v. 2, n. 3, p. 51 – 55, 1998.

MOORE, M. **An investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management**. Silsoe College, Cranfield University, 1998,371p.(Ph.D.Thesis).POCKNEE, S.
Em: <http://nespal.cpes.peachnet.edu/pa/home/main.asp>. Soil Sampling. Acessado em 01/06/2000.

NIMA - National Imagery and Mapping Agency, Department of Defense World Geodetic System 1984, **NIMA TR 8350.2**, Third Edition, 171p., 1997.

ORLANDO FILHO; J. RODELLA, A. A análise química do solo e recomendação de adubação. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool/Planalsucar, 1983. p. 155-178.

PAZ, S.M. **Uma ferramenta para desenvolvimento de equipamentos que utilizem um receptor do Sistema de Posicionamento Global (GPS)**. São Paulo, SP, 1997. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

ROZA, D. Novidade no campo: geotecnologias renovam a agricultura. Revista **InfoGeo**, n. 11, jan./fev., 2000. p. 11-13.

SCHIRATSUCHI, L. S. **Mapeamento da variabilidade espacial de plantas daninhas com a utilização de ferramentas da agricultura de precisão**. 2001. 96f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SILVA; A. de B. **Sistemas Georreferenciados: conceitos e fundamentos**, Campinas: Ed. da Unicamp, 2003.

SILVEIRA, A.C.; **Geodésia Aplicada ao Georreferenciamento**. Curso de Formação continuada em Georreferenciamento de imóveis rurais. CTET. Março de 2005.

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

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; MOREIRA, L.F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg, e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1763-71, 2004.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; BARBIERI, D.M. Effects of relief shapes on soil chemical properties of a Oxisol cultivated with sugar cane. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 63, n. 2 p.161-8, 2006.

STAFFORD, J. V.; LARK, R. M.; BOLAM, H. C. Using yield maps to recognize fields into potential management unit. In.: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE**, 4, Madison, 1999. Proceedings... Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1999. p. 1285-1286.

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

YATES, F. **Sampling methods for censuses and surveys**. 4th ed. London: Charles Griffin, 1981. 458 p.

4. CAPÍTULO II

MAPA DE FERTILIDADE DO SOLO

4.1. Introdução

O recente processo de globalização da economia vem impondo aos segmentos produtivos, dentre os quais o setor agrícola nacional, a obtenção de níveis de competitividade internacionais. Para atender a esse novo paradigma, novos conceitos, métodos e técnicas devem ser incorporados ao processo produtivo da agropecuária, envolvendo mudanças radicais de atitudes em relação ao que se pratica hoje.

A agricultura brasileira necessita, assim, do desenvolvimento de tecnologias que possibilitem a competição de seus produtos no mercado mundial, através da ampliação da produtividade, o que é normalmente obtido pelo aumento do uso dos insumos agrícolas. Porém, a falta de conhecimentos adequados sobre os diferentes ecossistemas e a consequente utilização de tecnologias inadequadas, tem contribuído para a perda de competitividade econômica do setor agrícola e para a degradação ambiental.

No Brasil, a agricultura de forma tradicional considera uniforme o solo de cada área de cultivo, sem avaliar que cada talhão pode ter consideráveis variações em seus atributos, tais como variabilidade espacial do tipo de solo, da produtividade, da declividade e da necessidade de nutrientes. E, mais especificamente, no que concerne à fertilidade dos solos, essa prática inicia-se na amostragem de solo para avaliação da fertilidade. As análises de solo expressam um único resultado, geralmente, para todo um talhão, não levando em conta a presença da variabilidade espacial e considerando que todas as propriedades do solo são similares dentro da camada amostrada e em toda a área.

Essa forma de buscar o conhecimento, não se sustenta mais quando a estratégia é ampliar o gerenciamento dos meios de produção, a racionalização do uso de insumos e, principalmente a correção das deficiências de fertilidade e a elevação da produtividade. Para a otimização do uso de insumos, sem reduções de

produtividades, faz-se necessário o pleno conhecimento e quantificação espacial da variabilidade dos atributos químicos do solo (PONTELLI, 2006).

Assim, a otimização das quantidades aplicadas de corretivos, fertilizantes, herbicidas, fungicidas, inseticidas e água irrigada, pode ajudar a maximizar os lucros e proteger o meio ambiente com a redução do uso indiscriminado e irracional de insumos e, para tanto, há necessidade de se conhecer os diversos fatores que influenciam a produtividade de uma cultura, em que uma das formas é o estudo da variabilidade espacial existente no solo, no intuito de minimizar análises laboratoriais e despesas com coleta de dados a campo.

Sob a égide da utilização racional do solo, que implica, dentre outras coisas, na redução da utilização dos insumos agrícolas, no sentido de evitar impactos ambientais e dos custos de produção, tem-se como ferramenta de grande potencialidade a Agricultura de Precisão (AP), o que proporciona, ao agricultor, o conhecimento cartográfico da área, o mapeamento do solo, a aplicação de insumos e das atividades de colheita, considerando-se a área de modo diferenciado, a fim de racionalizar o uso, visando um desenvolvimento sustentável, aproximando-se do ideal, que seria manejar cada planta e local, individualmente, fato impraticável econômica e tecnicamente.

A AP tem como base a aplicação de princípios e tecnologias para manejar a variabilidade espacial e temporal com o objetivo de aumentar a produtividade na agricultura e a qualidade ambiental (PIERCE; NOWAK, 1997).

O gerenciamento das unidades de produção assimilou novos subsídios para a ampliação do conhecimento e o entendimento da variabilidade espacial dos atributos dos solos e das plantas e suas relações. A possibilidade de manejar essa variabilidade e tornar possível sua minimização é o grande desafio e, por que não, o alicerce prático da aplicação dos conceitos da AP (PONTELLI, 2006).

Ao utilizar técnicas de AP, este trabalho tem como objetivo precípuo avaliar a variabilidade de atributos químicos do solo, em uma área de 16,30 hectares, localizada no município de Santa Maria, RS, gerando mapas correlacionados de Argila com Fósforo, e também CTC com Potássio.

4.2. Revisão da Literatura

4.2.1. Mapa de Fertilidade do Solo

O solo é um sistema complexo, onde sua qualidade é considerada alta quando há interação entre os subsistemas minerais, plantas e microrganismos, e estão organizados em nível alto de ordem. Como a interação entre as características químicas, físicas e biológicas não é constante em todos os pontos de uma lavoura, isso pode refletir nas diferenças de produtividade dentro de uma propriedade (VEZZANI, 2001).

Como o solo é heterogêneo, em uma mesma lavoura é possível encontrar subáreas com diferentes níveis de qualidade (organização do sistema), embora as práticas de manejo adotadas tenham sido planejadas para aplicação uniforme. Por exemplo, a eficiência de uma fertilização mineral pode ser comprometida em subáreas compactadas, que restringem o desenvolvimento radicular e a disponibilidade de água. Neste exemplo, somente a análise química do solo não será uma ferramenta apropriada para manejar eficientemente o solo desta subárea, havendo necessidade de uma visão holística do solo, principalmente quanto à interação das características químicas, físicas e biológicas, que irão determinar a qualidade do solo (AMADO et al. 2005).

O solo apresenta heterogeneidade, tanto vertical como horizontal, imposta pela natureza dos fatores responsáveis pela sua gênese. Na prática, geralmente, a única heterogeneidade considerada é na direção da profundidade, distinguindo-se as camadas ou horizontes com diferentes propriedades (REICHARDT et al., 1986).

Segundo os princípios básicos da experimentação, a variabilidade ocorre de forma aleatória. No entanto, vários estudos relatam que a variabilidade das propriedades químicas e físicas do solo apresenta correlação ou dependência espacial (SOUZA, 1992).

Balastreire (1998) cita que várias são as formas de investigação da variabilidade dos fatores que interferem na produção. Destacam-se amostragens de solo em malha, mapeamento de plantas daninhas, condutividade elétrica do solo,

sendo a forma mais difundida o mapeamento da produtividade por ocasião da colheita, pois esta é tida como a expressão biológica dos fatores envolvidos no processo produtivo e é considerado como uma das fases que apresenta maior facilidade de execução.

Santi et al. (2005) complementam que a ferramenta da AP, onde se expressam os potenciais produtivos de forma gráfica e cartográfica, é uma possibilidade de ampliar o aspecto gerencial na propriedade por garantir uma visualização da real expressão produtiva das culturas, mesmo em áreas de plantio direto estabelecido e níveis de fertilidade elevados.

De acordo com Rocha & Lamparelli (1998), as aplicações convencionais de fertilizantes, atualmente realizadas pelos agricultores, significam aplicações excessivas em determinadas áreas do campo e insuficientes em outras, em função da não uniformidade natural existente nos solos. Desta forma, a adequação da utilização de insumos, dentro das reais necessidades de cada tipo de solo e para cada tipo de cultura, é essencial para a promoção da sustentabilidade do setor, tanto no nível econômico, como no ambiental.

Surge então a AP, cujo conceito é aplicar, no local correto, e no momento adequado, as quantidades de insumos necessários à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos o permitam (MANZATTO et al., 1999).

O processo da AP inicia-se com o intuito de buscar a variabilidade espacial da fertilidade prévia do solo, utilizando para isso uma amostragem programada e criteriosa. De posse de todas as informações obtidas da amostragem, parte-se para o tratamento direcionado da fertilidade do solo, aplicando corretivos e fertilizantes a taxas variáveis, buscando sanar problemas que podem vir a depreciar a qualidade e a produtividade da lavoura por falta ou excesso dos nutrientes essenciais (PETILIO ET AL., 2007).

A variabilidade espacial dos atributos físico-químicos do solo é um fato e pode ocorrer em várias escalas, sendo que Raij (1991) cita variação dessas propriedades em distâncias de centímetros. Esta variabilidade, detectada pelas amostras de solo, podem ser visualizadas através de mapas gerados em programas específicos para o gerenciamento de dados espacializados e georreferenciados, denominados Sistemas Geográficos de Informação (SGI). As amostragens de solo feitas para a geração de mapas de fertilidade, em sua grande maioria, são realizadas de acordo

com uma grade amostral definida previamente com base nas características da área e na densidade amostral desejada.

Petillo (2007) afirma que confecção de mapas de fertilidade de solo constitui-se ferramenta fundamental para a tomada de decisão sobre a recomendação de adubação para a cultura que se pretende implantar no sistema.

Molin (2000) cita que agricultores americanos têm conseguido detectar a variabilidade espacial contida nos talhões utilizando 01 a 2,5 amostras/ha. A densidade amostral que vem sendo comumente utilizada para esta finalidade por parte dos produtores brasileiros varia em torno de uma amostra a cada 05 ha para áreas mais homogêneas, e uma amostra a cada 03 ha para áreas mais heterogêneas.

Ainda segundo o autor, os mapas de fertilidade são criados através da inserção dos dados de posicionamento e dos teores de nutrientes da análise química no software apropriado, o qual processa os dados através de uma técnica geoestatística denominada interpolação, que estima valores para as regiões não amostradas. A partir dos pontos amostrais são criadas quadrículas, menor unidade de resolução dos mapas, que representam áreas de no mínimo 100 m² no mapa, sendo-lhes atribuídos valores de fertilidade e posicionamento.

Continua o autor, com base nos mapas de fertilidade, mapas de recomendação de adubação podem ser gerados por determinados softwares, através da aplicação de uma equação de cálculo de adubação a cada quadrícula do mapa. Sendo assim, todo o mapa terá uma recomendação de adubação baseada no valor inerente de cada quadrícula. Sendo identificada a variabilidade espacial dos fatores de fertilidade, é possível se realizar a intervenção localizada através da aplicação a taxa variável do fertilizante. Esta técnica pode ser realizada através do uso de máquinas adubadoras providas de um sistema controlador de dosagem hidráulico-eletrônico. Este tipo de equipamento, associado a um receptor GPS, permite que a máquina adubadora aplique o fertilizante de acordo com um mapa de recomendação estabelecido previamente.

Várias pesquisas têm mostrado que os processos que determinam a variabilidade dos atributos do solo são influenciados por fluxos tanto verticais como horizontais, superficiais ou sub-superficiais; os mesmos são condicionados, fundamentalmente, pela posição dos solos na paisagem ou no declive, mesmo que o

relevo seja de pequena expressão (ALMEIDA et al., 1997; SOUZA et al., 2003; SOUZA et al., 2004).

O conhecimento das concentrações químicas dos nutrientes no solo é de fundamental importância para qualquer tipo de cultura, pois é fator primordial para a caracterização da fertilidade do solo e do estado nutricional das plantas, que são fatores determinantes da produtividade, mas a avaliação dessas características, mesmo em áreas homogêneas, apresenta variação espacial, mesmo a curtas distâncias, que pode influenciar a produtividade das culturas (OLIVEIRA et al., 2009).

A variabilidade espacial poderá mostrar, ao produtor, a localização exata das áreas de maior e menor produção, a concentração dos nutrientes no solo e o teor nas plantas, tornando possível, com isto, fazer a adubação e as correções devidas nos locais corretos, diminuindo consideravelmente o custo da produção e trazendo também uma enorme contribuição ao meio ambiente introduzindo, assim, a AP (FARIAS et al., 2003).

A variabilidade do solo, dentro de um campo de produção, é a causa de muitas outras fontes de variabilidade, além de influenciar diretamente, diversos parâmetros, como a disponibilidade de nutrientes, o suprimento de água e as condições relacionadas ao crescimento das raízes das plantas (QUEIROZ et al., 2000).

Pontelli (2006), estudando a variabilidade horizontal de atributos químicos do solo, em uma área de 57 hectares localizada no município de Palmeira das Missões – RS, constatou que a variabilidade espacial dos dados de fertilidade demonstrou que a base experimental revelou dependência espacial consistente. Entre os atributos químicos avaliados, o alumínio, o fósforo e o potássio foram os que apresentaram maior variabilidade. As menores variabilidades foram obtidas no pH, MO e teor de argila. Neste estudo, o autor pode concluir que as ferramentas de AP são eficientes na identificação de intervenções naturais e antrópicas de manejo.

Resultados de pesquisas relatados por Resende et al. (2006) indicaram dependência espacial para os atributos do solo nas amostragens com quadrículas de até 2,25 ha, excetuando-se o P, que só apresentou dependência espacial quando a amostragem foi feita mais densa (0,25 ha). Matéria orgânica, K, Ca e Mg apresentaram dependência espacial também para amostragem em quadrículas de 4 ha. Grades regulares com malha de área superior a 4 ha (6,25 ha e 9 ha) foram

pouco efetivas quanto a representatividade ou acurácia dos mapas gerados para fins de diagnóstico e manejo localizado da fertilidade do solo.

Coelho (2008) cita que no período de 2004 até julho de 2008, a área atendida com a tecnologia de AP para o manejo da fertilidade dos solos (amostragem georreferenciada de solos, análises químicas e físicas, elaboração de mapas e aplicação de corretivos e fertilizantes a taxas variáveis), em propriedades agrícolas localizadas nos estados de Minas Gerais, Goiás e Bahia, apresentou um crescimento anual da ordem de 14 mil hectares, atingindo em julho de 2008, 58 mil hectares, conforme mostra a Figura 4.1

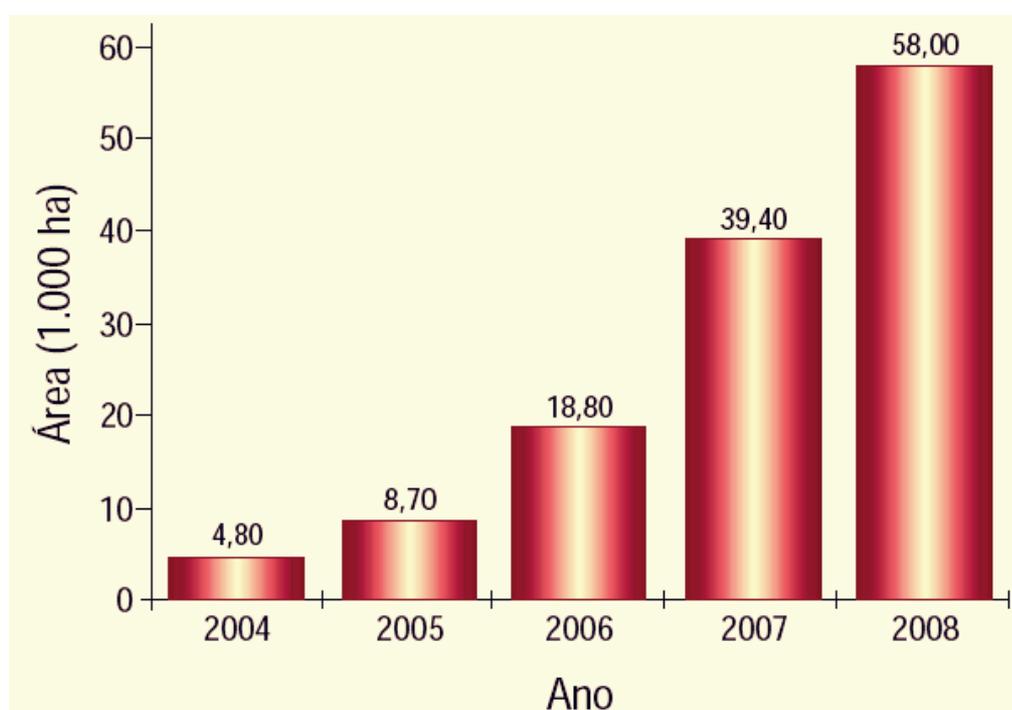


Figura 4.1 – Evolução da área agrícola utilizando tecnologia de AP para o manejo sítio-específico da fertilidade do solo

4.2.2. Geoestatística

Avanços tecnológicos na agropecuária têm mostrado a importância de se medir a variação espacial e temporal de propriedades que afetam o rendimento das culturas, com o objetivo de otimizar o aproveitamento de recursos e diminuir custos.

O gerenciamento do processo de produção em função da variabilidade é o que se convencionou chamar AP. Seu objetivo é correlacionar causas e efeitos a partir de séries históricas de dados e de sua distribuição espacial (CARVALHO et. al., 2002).

Para Camargo (1997), a variabilidade espacial de algumas características do solo vem sendo uma das preocupações de pesquisadores praticamente desde o início do século. Os procedimentos usados na época baseavam-se na estatística clássica e utilizavam grandes quantidades de dados amostrais, visando caracterizar ou descrever a distribuição espacial da característica em estudo. Por estatística clássica entende-se aquela que se utiliza de parâmetros como média e desvio padrão para representar um fenômeno e se baseia na hipótese principal de que as variações de um local para outro são aleatórias, explica o autor.

Nos últimos anos, a geoestatística concretizou-se na análise da variabilidade espacial de diversos parâmetros de interesse na agricultura, proporcionando a interpretação de dados baseados na estrutura de sua variabilidade natural, considerando a dependência espacial no local a ser estudado (BATISTA, 2009).

Burrough e MacDonnell (1998) argumentam que, quando a quantidade de dados é grande, as amostras são abundantes, a maioria das técnicas de interpolação apresenta resultados similares. Entretanto, quando os dados são esparsos, as suposições feitas, sobre o comportamento de variabilidade do atributo no espaço e a escolha do método de interpolação e dos seus parâmetros, podem ser críticas quando se quer evitar resultados inesperados.

Daniel G. Krige (1951), engenheiro de minas, da África do Sul, trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que somente a informação dada pela variância seria insuficiente para explicar o fenômeno em estudo. Para tal, seria necessário levar em consideração a distância entre as observações. A partir daí surge o conceito da geoestatística, que leva em consideração a localização geográfica e a dependência espacial (DELFINER ; DELHOMME, 1975).

Georges Matheron (1971), matemático francês, baseado nas observações de Krige, desenvolveu a teoria das variáveis regionalizadas. Uma variável regionalizada é uma função numérica com distribuição espacial, que varia de um ponto a outro com continuidade aparente, mas cujas variações não podem ser representadas por uma função matemática simples. A teoria das variáveis regionalizadas pressupõe que a variação de uma variável pode ser expressa pela soma de três componentes: a) uma componente estrutural, associada a um valor médio constante ou a uma

tendência constante; b) uma componente aleatória, espacialmente correlacionada; e c) um ruído aleatório ou erro residual (BURROUGH, 1987).

No Brasil, o emprego de amostragem regionalizada e de métodos geoestatísticos para solos ainda é incipiente e muito pouco disseminado em comparação aos métodos convencionais de análises estatísticas (ZIMBACK, 2003).

Vários autores, tais como McCullagh (1988); Oliver e Webster (1990); Camargo (1997) e Fuks (1998), têm se dedicado ao problema de estimativa de atributos espaciais numéricos a partir de um conjunto amostral pontual. As soluções apresentadas podem ser classificadas em dois grupos, as que tratam o problema com procedimentos determinísticos e aquelas que utilizam procedimentos geoestatísticos para as inferências.

As inferências para atributos espaciais por procedimentos geoestatísticos apresentam, pelo menos, duas vantagens principais em relação aos determinísticos: se baseiam no estudo da variabilidade do atributo dentro da região de interesse e possibilitam a determinação da variância da estimação (FELGUEIRAS, 1999).

A geoestatística, como auxiliar na descrição e representação de variáveis contínuas de atributos dos solos e paisagens, primeiramente foi utilizada para estudar uma única variável; posteriormente, métodos geoestatísticos foram desenvolvidos para múltiplas variáveis e para quantificar variáveis correlacionadas, não conhecidas ou de difícil determinação (STEIN et al., 1988 e MCBRATNEY et al., 1991).

Abreu et. al. (2003) definem a geoestatística como uma coleção de técnicas para a solução de problemas de estimativa envolvendo variáveis espaciais e tem sua base conceitual na interpretação espacial de uma variável regionalizada com realização particular de uma função aleatória. Os autores esclarecem que a geoestatística também permite a interpretação dos resultados obtidos do estudo com base na estrutura da sua variabilidade natural, considerando a existência de dependência espacial dentro do espaço da amostragem.

As ferramentas da geoestatística são usadas para entendimento e modelagem da variabilidade espacial de atributos (DEUTSCH E JOURNAL 1998).

Para que se possa estudar esta variabilidade espacial, baseada em amostras, é conveniente utilizar-se técnicas de geoestatística. A geoestatística permite estabelecer um modelo de semivariograma que melhor descreva a variabilidade

espacial dos dados, o qual será utilizado no processo de interpolação digital pelo método da krigagem (JOHANN, 2004).

O semivariograma é a parte central dos estudos geoestatísticos, sendo capaz de descrever tanto qualitativa quanto quantitativamente a variação espacial, além de ser o ponto chave na determinação do preditor geoestatístico – krigagem. Daí a importância do ajuste e seleção dos modelos da função de semivariância (MELLO, 2005).

Para Landim (1998), os semivariogramas expressam o comportamento espacial da variável regionalizada ou de seus resíduos, e mostram o tamanho da zona de influência em torno de uma amostra, a variação nas diferentes direções do terreno e mostrando também continuidade da característica estudada no terreno.

Vários autores (Hoeksema et al.,1989; Wackernagel, 1993; Vieira, 1995), definem o semivariograma como o ajuste teórico dos dados analisados a modelos matemáticos, e isto, na opinião dos mesmos, é um dos aspectos mais importantes da aplicação da teoria das variáveis regionalizadas. Conhecido o semivariograma da variável em estudo e havendo dependência espacial, podem-se interpolar valores em qualquer posição no campo de estudo, pelo método da krigagem, baseando-se na função da dependência espacial.

Na realidade, as propriedades naturais da superfície terrestre são espacialmente contínuas, sendo restritivo descrevê-las através de simples funções matemáticas. Modelos inferenciais para este objetivo vêm sendo propostos (CAMARGO, 1998)

A krigagem é um desses modelos e sua base conceitual está fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas, formalizada por Matheron (1971).

O termo krigagem é derivado do nome de Daniel G. Krige, que foi o pioneiro em introduzir o uso de médias móveis para evitar a superestimação sistemática de reservas em mineração. O que diferencia a krigagem de outros métodos de interpolação é a estimação de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado. Além disso, a krigagem também fornece estimadores exatos com propriedades de não tendenciosidade e eficiência (DELFINER; DELHOMME, 1975).

Heuvelink (1998), por exemplo, utiliza a variância do erro da krigagem linear para modelar incerteza das estimativas de atributos numéricos.

Entretanto, essa variância só pode ser considerada medida de incerteza em situações muito particulares, ou seja, quando a distribuição das variáveis aleatórias, na região de interesse, tem um comportamento multigaussiano (DEUTSCH e JOURNAL, 1998) e quando o patamar do variograma teórico, obtido das amostras, representa exatamente o valor da variância do atributo, ou seja, não está escalonado (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

Para Felgueras (1999), a krigeagem, ou krigagem, é a âncora dos procedimentos geoestatísticos. Ela possibilita inferências de valores, a partir de amostras pontuais de um atributo espacial. Estas inferências são usadas, geralmente, para finalidades de mapeamento digital de atributos espaciais.

4.2.3. Sistemas de Informação Geográfica - SIG

Cada vez mais, os computadores vêm sendo utilizados como ferramentas de apoio a procedimentos de estudos, de análises e de simulações em vários campos do conhecimento humano. Sistemas complexos para análises e para modelagens foram desenvolvidos para se trabalhar dados relacionados com áreas específicas como finanças, transportes, geologia, solos, entre outras. Nessa mesma tendência, sistemas de armazenamento, manipulação e apresentação de dados espaciais, conhecidos como SIG, foram criados e estão sendo utilizados no campo das ciências ambientais. Modelos matemáticos, aritméticos e lógicos, buscando representar propriedades e processos do meio físico natural, têm sido implementados, nos SIG, com o objetivo de facilitar o seu estudo e compreensão para que se possa atuar sobre o meio ambiente de forma responsável e cooperativa (FELGUEIRAS, 1999).

Existe uma grande quantidade de definições para SIG, cada uma delas baseada no tipo de usuário e no domínio da aplicação (MAGUIRRE et al. 1991).

A metodologia de banco de dados define o SIG como um banco de dados geográficos, não convencional que possibilita gerenciamento de dados espaciais. A visão orientada a processos considera o SIG como uma coleção de subsistemas integrados, onde dados passam por uma sequência de procedimentos de transformação. (FELGUEIRAS, 1999)

A definição de aplicação ou utilização conceitua o SIG de acordo com o tipo de problema a ser solucionado e o tipo de dado manipulado (De Oliveira et al. 1997).

Burrough e McDonnell (1998) definem *Geographical Information System* (SGI) como um conjunto poderoso de ferramentas para coleta, armazenamento, recuperação, transformação e apresentação de dados espaciais do mundo real para um conjunto particular de propósitos. Esta definição considera o SIG como uma caixa de ferramentas computacionais para se trabalhar com dados espaciais.

Segundo Câmara e Medeiros (1998), os SIG, como instrumentos computacionais para geoprocessamento, possibilitam a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar banco de dados georreferenciados.

Um dado espacial, para ser trabalhado dentro de um SIG, deve ser representado por um modelo computacional. Um modelo é uma abstração de fatos ou de entidades do mundo real. A modelagem de dados geográficos é o processo de discretização que converte a realidade geográfica complexa em um número finito de registros ou objetos (GOODCHILD, 1993).

Os SIG possibilitam que dados espaciais do mundo real sejam inseridos, consultados, analisados, transformados e apresentados para um conjunto particular de propósitos (BURROUGH, 1987).

Para realizar a análise e interpretação dos dados obtidos seja por sensoriamento remoto, seja por medidores de produtividade, torna-se imprescindível o conhecimento e domínio de ferramentas como Sistema de Informações Geográficas (SIG), que possibilita a integração e análise de dados provenientes de variadas fontes, em camadas sobrepostas, com um cruzamento muito alto de informações: produtividade, tipo de solo, necessidade e qualidade de insumos, déficit nutricional, etc. (ROCHA et. al., 2009).

4.3. Material e Métodos

4.3.1. Material

- Sistema CR Campeiro 7, produzido no Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria UFSM, Laboratório de Geomática, concebido e programado pelo Prof. Dr. Enio Giotto ;
- Levantamento da área em estudo georreferenciada;
- Análises de solo georreferenciadas.

4.3.2. Metodologia

Na confecção dos mapas de fertilidade, foram utilizadas as rotinas de Agricultura de Precisão (AP), exclusivas do Sistema CR Campeiro 7.

Foi feito levantamento da área através de um aparelho receptor GPS. Esse levantamento foi transferido ao computador e gerada a malha de amostragem.

As amostras foram retiradas com pá de corte, sendo uma no centro da malha e mais quatro com uma distância de até dez metros de raio a partir do ponto central da malha.

Envio das amostras ao Laboratório de Análises de Solo, do CCR, da UFSM.

Recebimento dos resultados das análises em formato eletrônico, planilha Excel (.xls).

Com os dados das amostras em mãos, foi possível confeccionar mapas. Neste processo foi analisado e mostrado como chegar à confecção desses mapas e à sobreposição entre mapas de atributos diferentes com o objetivo de melhorar a precisão do mapa, cujos valores de um atributo dependem do valor do outro, como ocorre entre o Fósforo e a Argila. Realizando integração temática ou sobreposição entre os dois mapas, ou seja, como a classificação do Fósforo depende da classificação da Argila, essa classificação é feita ponto a ponto, verifica-se primeiro a

quantidade de argila do solo e, em seguida, analisa a quantidade de Fósforo para então determinar qual o nível de Fósforo no solo. Os níveis de Fósforo são subdivididos em classes que variam de 1 a 5, tomando 1 como Muito Baixo, e 5 como Muito Alto.

Na Figura 4.2, indica-se o caminho para acessar a tela de seleção dos arquivos **.CSV** onde estará contido os dados laboratoriais das análises de solo. Caminho: Sistema de Agricultura de precisão >> Agricultura de Precisão>> Entrada de Dados>> Dados Externos.

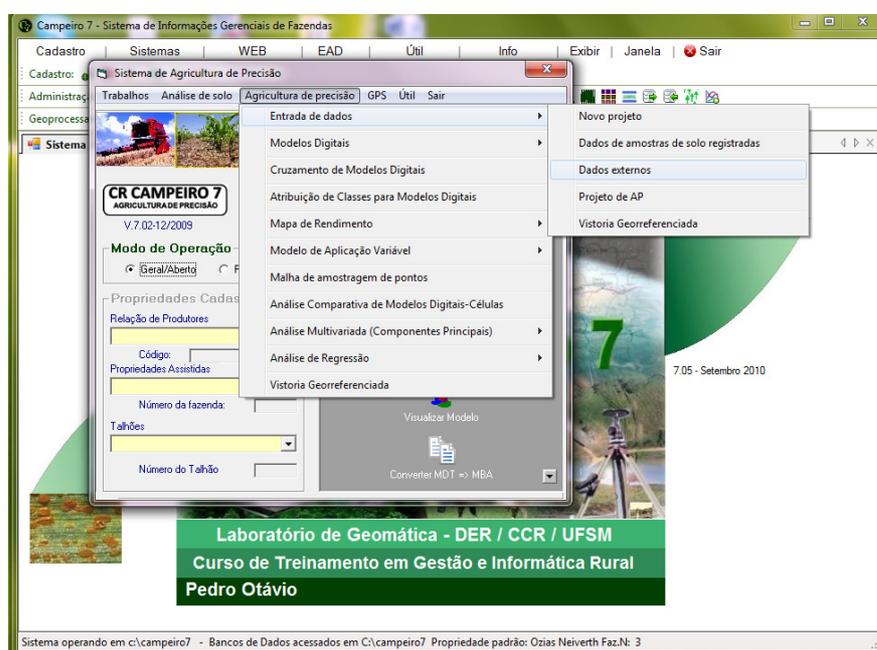


Figura 4.2 - Entrada para tela de georreferenciamento das amostras

Logo se abrirá a tela Dados indicada pela Figura 4.3.

Após selecionar o arquivo desejado, deve-se pressionar a tecla .

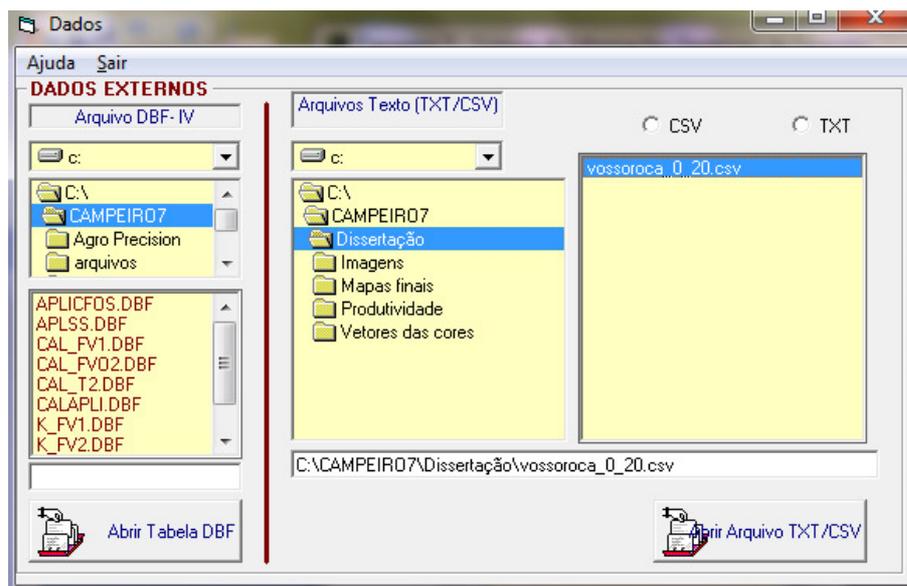


Figura 4.3 – Seleção do arquivo do Excel formato .CSV que contem as amostras de solo

A tela 4.4 tem mais detalhes, abrirá na sequência após a tela 4.3, depois da seleção do arquivo .CSV. Para a formação do projeto necessita-se executar alguns comandos. Selecionar o talhão; na tela 4.3 o talhão selecionado é o 1001, isso ocorre porque não foi selecionada nenhuma propriedade. O botão Abrir listará os valores das análises. Caso o número de colunas não seja suficiente para apresentar a tabela, em (N. colunas=>) digita-se um número de colunas suficiente e clica-se o botão vermelho (A) localizado no meio da tela. Seguindo agora ao georreferenciamento das análises, que é muito simples, precisa-se apenas observar alguns detalhes. Em Inserir Coordenadas nos Pontos Amostrais, deve-se abrir a malha de amostragem pelo botão de busca (...), aparecerá o endereço do arquivo no combo. Antes de inserir os valores das coordenadas deve-se observar em qual linha iniciam-se os valores das análises de solo. Nesse caso, a conversão inicia-se na linha dois. E então clicar o botão vermelho (A) ao lado direito da tela. Ao término do georreferenciamento marcar qual configuração de coordenadas tem o arquivo e clicar em Projeto de AP, escrever o ano e clicar no botão Seleção Múltipla de PAP.

Arquivo P.AP Retornar

Geral / F00

Código Produtor : G00 Fazenda: 001 Talhão 1001

*** Arquivo texto txt/csv:**

C:\CAMPEIRO7\Dissertação\vossoroc Abrir N. de colunas=> A

Inserir coordenadas nos pontos amostrais

Projeto de AP: []

Arquivo VET: [] Inserir na coluna: [28] D A

Observar Início e Fim da inclusão

	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
1	Cu	S	B							
2		1.2	5.3	0.3	233586.61	6708851.15	0	002002		
3		1	6.4	0.3	233686.61	6708851.15	0	002003		
4		1.1	4.7	0.3	233786.61	6708851.15	0	002004		
5		1.1	6	0.3	233886.61	6708851.15	0	002005		
6		0.8	6.9	0.3	233986.61	6708851.15	0	002006		
7		1.2	5.6	0.4	233586.61	6708751.15	0	003002		
8		0.8	5.6	0.3	233686.61	6708751.15	0	003003		
9		0.9	3	0.3	233786.61	6708751.15	0	003004		

Iniciar conversão na linha : 2 Finalizar conversão na linha : 16 Não converter pontos com Z-V = 0

Conversão de dados do arquivo texto para arquivos do Sistema CR-CAMPEIRO 7

Colunas

Coordenadas GEO: [] Datum WGS84

E 28

N 29 Lat/Long - Decimal

Z-V Lat/Long - Sexagesimal

CD UTM

*** INSERIR SELEÇÃO EM :**

PROJETO DE AP Nome do Projeto Variável Seleção Múltipla PAP

ARQUIVO VET/APP Nome do arquivo: [] VET

Ano: 2010

R

Amostras Solo

Padrao LAB

OUTROS

Novo

Existente

SOLO

Figura 4.4 – Tela de georreferenciamento das amostras de solo e construção dos projetos

A tela 4.5 segue a construção dos projetos em três passos. Primeiramente digitar, ou dar um duplo clic na coluna que esta aparecerá nas linha da tabela da tela Dados Externos => PAP, em qual coluna está o elemento do qual será feito o projeto, dar o nome do projeto e também o símbolo do elemento. Em segundo, clicar quantas vezes for necessário no botão (-) até eliminar todas as linhas em branco da tabela. E em terceiro, clicar o botão (Retornar para Processar). Em sequência, na tela 4.4 clicar no botão Registrar (R).

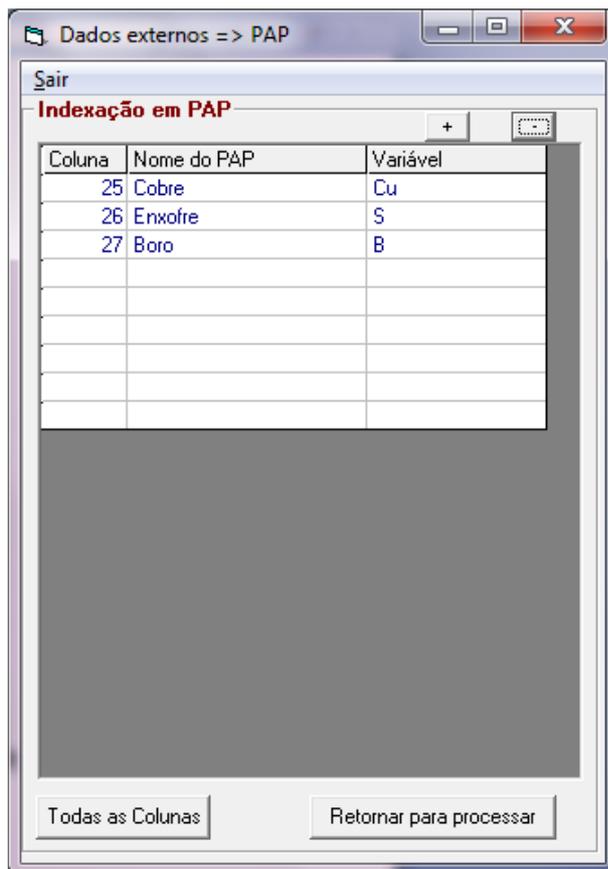


Figura 4.5 – Tela complementar à tela anterior, onde podem-se gerar quantos projetos se desejar.

Pela Figura 4.6 possibilita-se a geração do modelo digital do terreno, e mostra a sequência: Seleciona-se o talhão, o ano, o projeto e o arquivo de contorno do lote, clica-se no botão . Em seguida determina-se a distância dos pontos em Esp **X** e Esp **Y**. Após digitar o valor, dar sempre um Enter no teclado da máquina. Digitar o valor Máximo de influência do raio de pesquisa, o nome e ano, selecionar qual modelo de cálculo e clicar no botão .

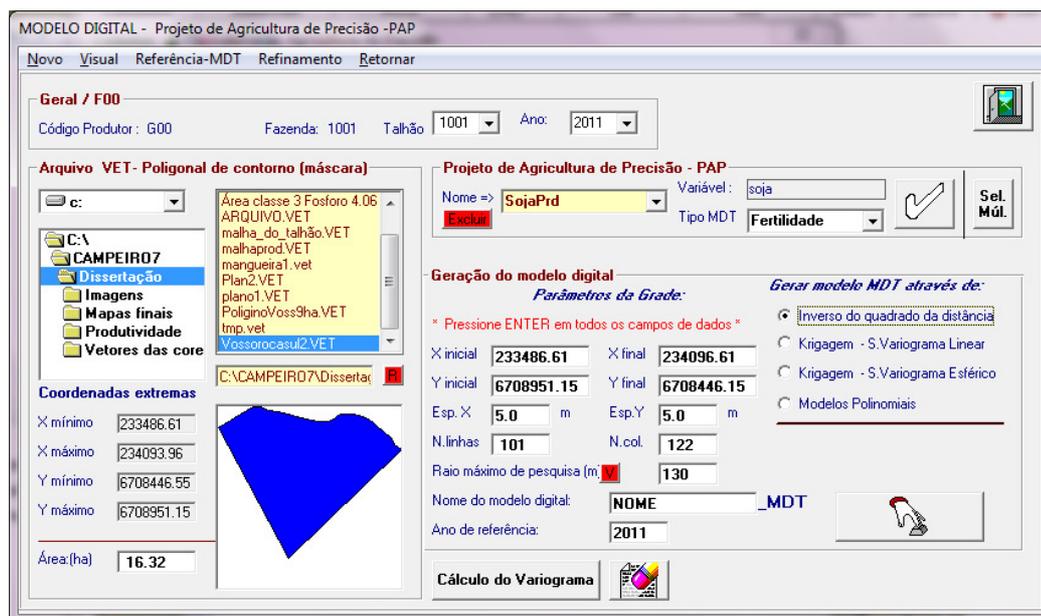


Figura 4.6 – Tela onde é gerado o modelo digital do terreno a partir do projeto

Depois da geração do modelo digital do terreno, é hora de visualizar os dados na forma de mapas: seleciona-se o talhão e aparecerão os modelos associados a ele, seleciona-se e em seguida clica-se no botão . Para fazer a sobreposição dos mapas deve-se clicar no botão  conforme a Figura 4.7.

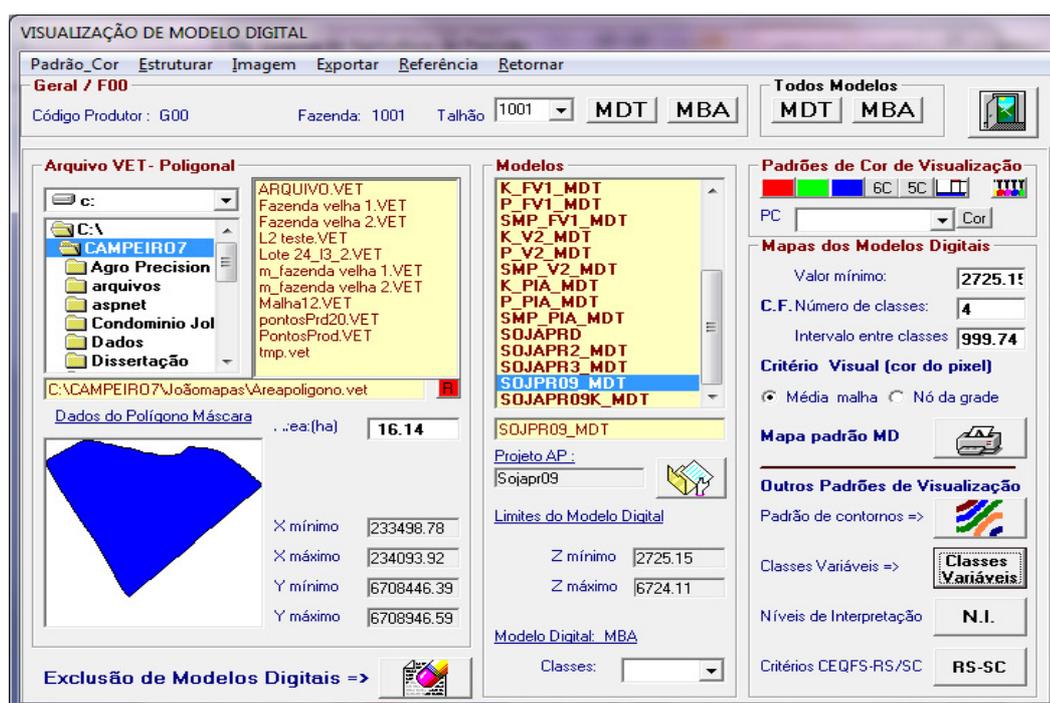
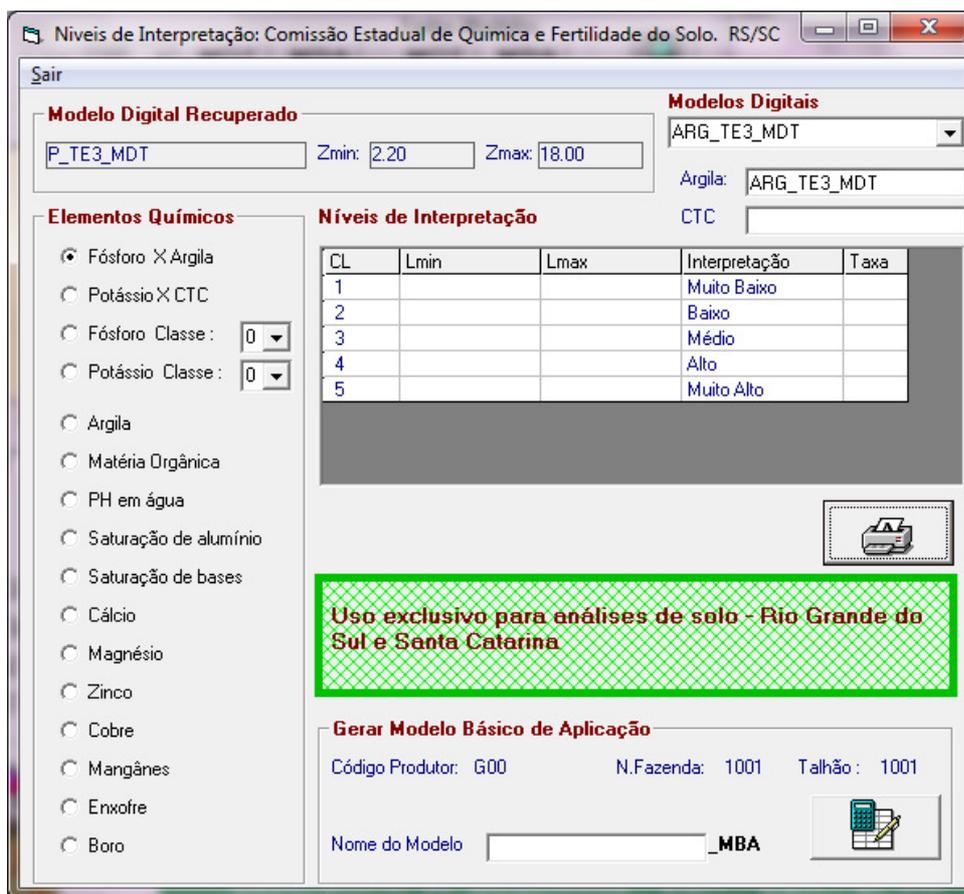


Figura 4.7 – Tela que dá acesso à visualização dos mapas.

Ao selecionar o botão , abre-se a tela 4.8, onde, na parte superior, podem-se visualizar os valores mínimos e máximos do modelo digital, que coincidem com os limites do projeto, no caso o Fósforo. Seleciona-se Fósforo X Argila, em seguida o modelo digital da argila, finalizando com clique no botão .



Modelo Digital Recuperado
 P_TE3_MDT Zmin: 2.20 Zmax: 18.00

Modelos Digitais
 ARG_TE3_MDT
 Argila: ARG_TE3_MDT
 CTC

Elementos Químicos

- Fósforo X Argila
- Potássio X CTC
- Fósforo Classe: 0
- Potássio Classe: 0
- Argila
- Matéria Orgânica
- PH em água
- Saturação de alumínio
- Saturação de bases
- Cálcio
- Magnésio
- Zinco
- Cobre
- Mangânes
- Enxofre
- Boro

Níveis de Interpretação

CL	Lmin	Lmax	Interpretação	Taxa
1			Muito Baixo	
2			Baixo	
3			Médio	
4			Alto	
5			Muito Alto	

Gerar Modelo Básico de Aplicação
 Código Produtor: G00 N.Fazenda: 1001 Talhão: 1001
 Nome do Modelo _____MBA

Figura 4.8 – Tela onde é gerado o modelo digital da integração entre o MDT do Fósforo e da Argila.

4.4. Resultados e Discussão

4.4.1. Apresentação dos mapas

A leitura deste mapa é relativamente simples (Figura 4.9), pois, o solo tem pouca variação do teor de argila. A área divide-se apenas em duas classes: Classe 3

que ocupa a grande área vermelha e a Classe 4 que aparece apenas em pequena porção indicada em marrom, região central da área.

O mapa de Argila tem grande importância à agricultura, principalmente para indicação do grau de fertilidade deste solo. Geralmente solos mais argilosos tendem a ser mais férteis, mas devemos observar também a qualidade da argila presente: argila 2:1 expansiva, mais jovem, mais nutrientes presentes, maior superfície específica, mais cargas negativas disponíveis, maior capacidade de retenção cátions; argila 1:1 óxidos de ferro, solo mais intemperizado, poucas cargas negativas, pequena retenção de cátions. Ou seja, solos mais antigos e intemperizados, com menor capacidade de retenção de cátions, têm uma maior propensão a perdas por lixiviação.

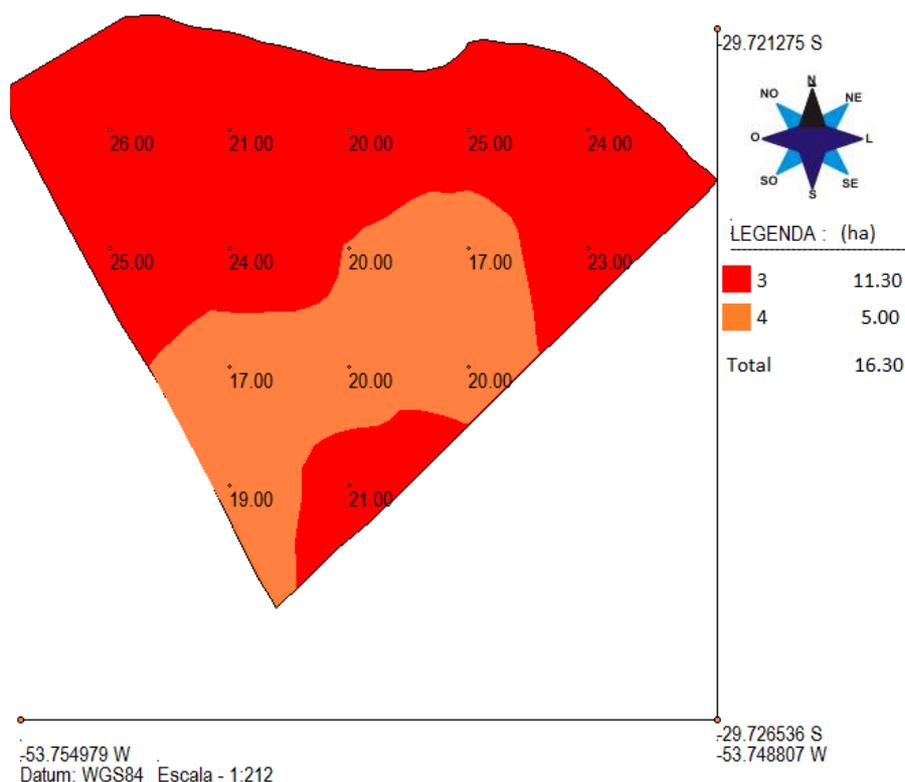


Figura 4.9 – Mapa de Argila, de acordo com o sistema de classificação RS/SC.

Deve-se frisar aqui apenas a relação Argila / Fósforo. O nível de fertilidade do solo com relação ao Fósforo está diretamente ligado ao teor de argila deste solo. Em solos com menor quantidade de argila, o valor que aparece em uma amostra para o teor de fósforo é maior que para um solo que tenha maior quantidade de argila. Isso acontece devido à capacidade tampão de um solo com maior quantidade de argila.

Assim, os métodos laboratoriais que usam ácidos para retirada de Fósforo do solo sejam menos eficientes em solos com maior teor de argila. Conforme Tabela 4.1. O Mapa de Fósforo da área em análise apresenta-se como na Figura 4.10.

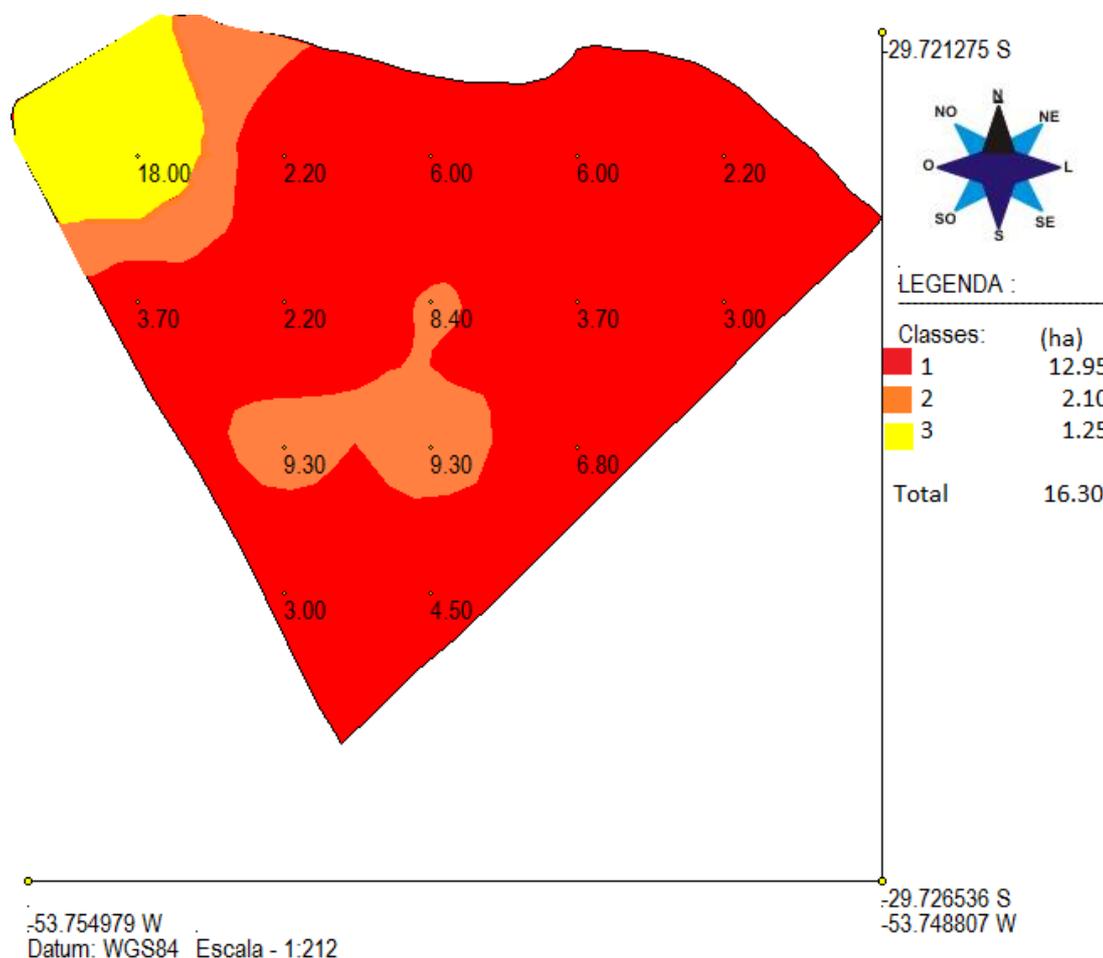


Figura 4.10 – Mapa do teor de Fósforo considerando a variação da argila.

Como a área tem, em sua grande parte, a argila na classe 3 (20 a 40% de argila), a maior parte da área foi classificada como muito pobre em Fósforo. O teor de fósforo variou dentro de três classes: a maior parte indicada em vermelho como classe 1 (muito baixo); uma área menor dividida em duas para classe 2 (baixo) em marrom no centro e a noroeste da área; e por fim uma pequena parte classificada como classe 3 (médio) em amarelo na região noroeste da área.

Com essa observação, já se pode prever que a área terá um gasto em fertilizante para suprir a necessidade de fósforo desse solo.

Como determinar a necessidade de Fósforo para áreas com teores de argila diferentes, sem que alguma área fique classificada numa classe diferente da que se tem a intenção de classificá-la?

Pensando assim, o software CR-Campeiro 7 traz uma solução que facilita muito a utilização por parte do usuário. O Campeiro 7 faz a integração entre dois modelos digitais, o de argila e o de fósforo, classificando o nível de fósforo do solo depois de verificar qual o teor de argila que tem naquele ponto, ou seja, faz a interpretação da necessidade de Fósforo da área de forma rápida e segura, disponibilizando um mapa com todas as classes de fósforo encontradas, conforme mostra o mapa da Figura 4.10. A Tabela 4.1 mostra a interpretação dos resultados de análise de solo para Fósforo, “extraível” para o Rio Grande do Sul e Santa Catarina, segundo XXXII Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul (Passo Fundo, RS, 27 a 29 de julho de 2004) retirado no sitio da EMBRAPA.

Tabela 4.1 – Interpretação dos resultados de análise de solo para Fósforo

Faixas de teor no solo	P			
	----- mg/L -----			
	> 60% argila	41 a 60% argila	20 a 40% argila	0 a 20% argila
Muito baixo	0,0 – 3,0	0,0 – 4,0	0,0 – 6,0	0,0 – 8,0
Baixo	3,1 – 6,0	4,1 – 8,0	6,1 – 12,0	8,1 – 16,0
Médio	6,1 – 9,0	8,1 – 12,0	12,1 – 18,0	16,1 – 24,0
Suficiente	9,0 – 18,0	12,1 – 24,0	18,1 – 36,0	24,1 – 48,0
Alto	> 18,0	> 24,0	> 36,0	> 48,0

Fonte: Segundo XXXII Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul. Passo Fundo, RS, 27 a 29 de julho de 2004.

A Tabela 4.2 mostra a interpretação dos teores de potássio (Mehlich-1) para solos do Rio Grande do Sul, em função da CTC pH 7,0, segundo a EMBRAPA.

Tabela 4.2 – Interpretação dos teores de Potássio

Interpretação do teor de K no solo	CTC pH 7,0		
	< 5	5 -15	> 15
Baixo	< 30	< 40	< 60
Médio	31 a 45	41 a 60	61 a 90
Alto	46 a 90	61 a 120	91 a 180
Muito alto	> 90	> 120	> 180

Fonte: Segundo XXXII Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul. Passo Fundo, RS, 27 a 29 de julho de 2004

A Tabela 4.3 mostra as quantidades de Fósforo e de Potássio a aplicar ao solo para a cultura de soja no RS e SC. Segundo XXXII Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul. Passo Fundo, RS, 27 a 29 de julho de 2004. Para rendimentos superiores a 2 t/ha, acrescentar 15 kg P₂O₅/t e 25 kg K₂O/t aos valores da tabela.

Tabela 4.3 – Quantidades de Fósforo e de Potássio a aplicar ao solo para a cultura de soja no RS e SC.

Teor de P ou de K no solo	Fósforo (kg P ₂ O ₅ / ha)		Potássio (kg K ₂ O / ha)	
	1º cultivo	2º cultivo	1º cultivo	2º cultivo
Muito baixo	110	70	125	85
Baixo	70	50	85	65
Médio	60	30	75	45
Alto	30	30	45	45
Muito alto	0	≤ 30	0	≤ 45

Recomendação de adubação: considerando o mapa as e suas respectivas classes, a quantidade fertilizante a ser aplicada tomará como base a recomendação da tabela acima para uma produtividade de 3.000 kg/ha.

O calculo da quantidade de fertilizante leva em conta a área por classe de fertilidade:

A Tabela 4.4 mostra as classes de fertilidade e a área que ocupam no mapa.

Tabela 4.4 – Níveis de Fósforo na área.

Classes de Fertilidade (Fósforo)	Área (ha)
Muito Baixo	12,95
Baixo	2,10
Médio	1,25
Alto	0,00
Muito Alto	0,00

Cálculos: para uma produtividade esperada de 3.000 Kg/ha, levando-se em consideração o nível de fertilidade, foram determinadas as doses por hectare e a quantidade de fertilizante necessária e também a quantidade média por hectare, conforme a Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Áreas das classes de fertilidade e recomendação mais quantidade necessária de Fósforo.

	Área (ha)	Recomendação P ₂ O ₅ Kg/ha	Qtde. kg/ha	Média kg/ha P ₂ O ₅
Classe 1	12,95	125	1.618,75	
Classe 2	2,10	85	178,50	
Classe 3	1,25	75	93,75	
Total	16,30		1.891,00	116

A Figura 4.11 mostra o mapa da CTC Total. Assim como o Fósforo depende da argila para determinar seu nível no solo, o Potássio depende da Capacidade de Troca de Cátions.

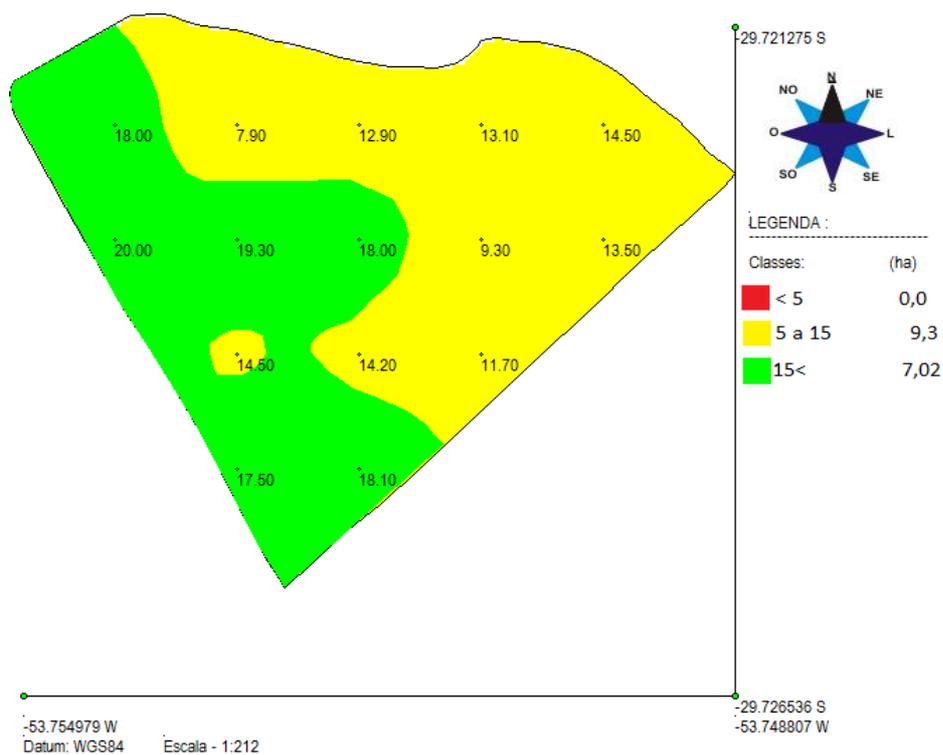


Figura 4.11 – Mapa da CTC Total.

A Figura 4.12 mostra o mapa do Potássio

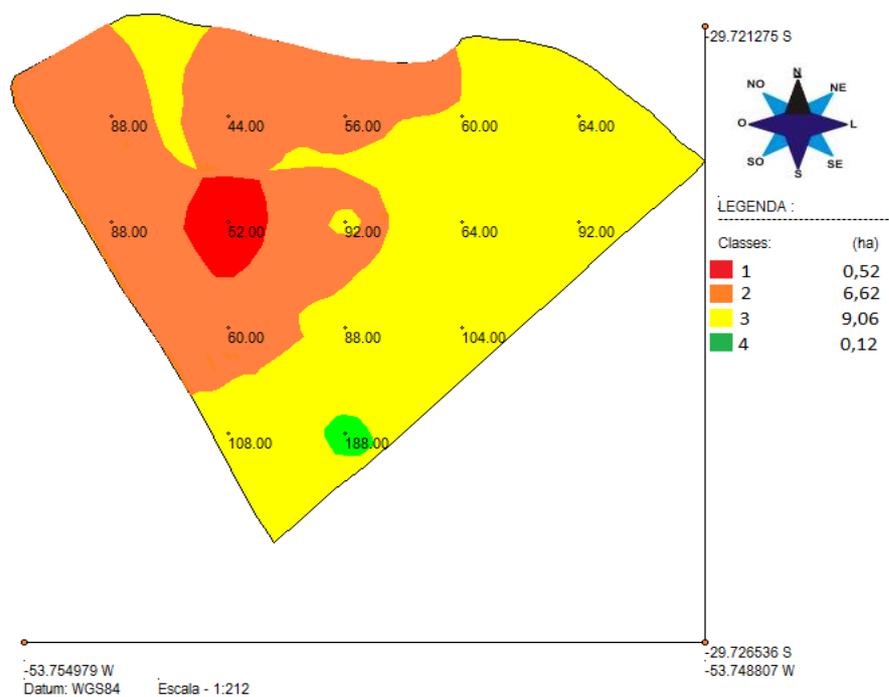


Figura 4.12 – Mapa de Potássio considerando a variação da CTC do solo.

A Tabela 4.6 mostra a área do talhão dentro de cada classe de teor de Potássio no solo, onde pode-se constatar que a maior parte da área possui um teor médio de Potássio um pouco mais de 9 ha.

Tabela 4.6 – Classificação dos níveis de Potássio e as respectivas áreas.

Classes de Fertilidade (Potássio)	Área (ha)
Muito Baixo	0,52
Baixo	6,62
Médio	9,06
Alto	0,00
Muito Alto	0,12

A Tabela 4.7 mostra as classes do teor de Potássio no solo e a área que ocupa dentro do talhão, e também as recomendações em quantidades de K₂O necessárias para cada uma das áreas, além de uma média para área total, caso não existisse a AP para uma produtividade de 3.000 kg/ha de soja.

Tabela 4.7 – Áreas das classes de fertilidade e recomendação mais quantidade necessária de Potássio

	Área (ha)	Recomendação K₂O Kg/ha	Qtde kg/ha	Média kg/ha K₂O
Classe 1	0,52	150	78,00	
Classe 2	6,62	110	728,00	
Classe 3	9,06	100	918,00	
Total	16,18		1.724,00	106,50

A Tabela 4.8 mostra a média de argila para área total e foi classificada na Classe 3 que, pelo método de classificação ROLAS RS-SC, coloca-se dentro da faixa de 20 a 40% de argila no solo, conforme a Tabela 4.1. A Tabela 4.9 mostra a média de Fósforo, onde foi classificada na (Classe 1) Muito Baixo para Fósforo, conforme a Tabela 4.1.

4.4.2. Comparação com agricultura Convencional.

Tabela 4.8 – Média de Argila e média do teor do Fósforo

	Argila %	Fósforo mg/dm ³
	26	18,0
	21	2,2
	20	6,0
	25	6,0
	24	2,2
	25	3,7
	24	2,2
	20	8,4
	17	3,7
	23	3,0
	17	9,3
	20	9,3
	20	6,8
	19	3,0
	21	4,5
Média	21	5,7

4.4.3. Cálculo de P₂O₅ Agricultura Convencional

A Tabela 4.9 mostra a área total do talhão, a dose de Fósforo na forma de P₂O₅, a quantidade total de fertilizante e a média aplicada por hectare.

Tabela 4.9 – Quantidade de Fósforo para Agricultura convencional.

Necessidade	Área (ha)	Recomendação P ₂ O ₅ Kg/ha	Qtde total (kg)	Média kg/ha P ₂ O ₅
Classe 1	16,30	125	2.040	125
Total	16,30	125	2.040	125

Como foi efetuado para as tabelas de Fósforo, foi feito também para as tabelas de Potássio. A Tabela 4.11 mostra a classificação do nível da CTC do solo por média de todas as amostras de solo. Já a Tabela 4.12 mostra a média do teor de Potássio para a área em estudo, usando todas as amostras de solo.

4.4.4. Cálculo K₂O Agricultura Convencional

O teor médio de K situou-se em 83,0; Na área seria classificado como de Médio Teor, para CTC pH 7 com intervalo (5 a 15), como mostra a Tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Média do CTC a pH 7 e do Potássio

	CTC pH7	Potássio mg/dm ³
	18,0	88
	7,9	44
	12,9	56
	13,1	60
	14,5	64
	20,0	88
	19,3	52
	18,0	92
	9,3	64
	13,5	92
	14,5	60
	14,2	88
	11,7	104
	17,5	108
	18,0	188
Média	15,0	83

Cálculo K₂O em Agricultura convencional

A Tabela 4.11 mostra área total do talhão, a dose de Potássio na forma de K₂O, a quantidade total de fertilizante e a média aplicada por hectare.

Tabela 4.11 – Quantidade de Potássio para Agricultura convencional.

Necessidade	Área (ha)	Recomendação K ₂ O Kg/ha	Qtde Total (kg)	Média kg/ha K ₂ O
Classe 2	16,30	100	1.630	
Total	16,30		1.630	100

4.5. Conclusões

Baseado nos objetivos propostos, pode-se concluir que: a rotina de geração de mapas de fertilidade do solo facilita a interpretação dos níveis de Fósforo, pois a classificação da quantidade desse elemento é dependente da quantidade de argila no solo, conforme a Tabela 4.1. Desta forma, evitam-se interpretações equivocadas dos níveis de fósforo no solo para áreas onde ocorre variações das classes de argila em um mesmo lote. E para o Potássio, onde ocorre variação nas classes de CTC.

A maior virtude da AP está ainda na otimização na utilização de insumos. Neste trabalho, quando analisamos a quantidade necessária de P₂O₅ para AP, em comparação ao caso de uso de práticas de agricultura convencional, consegue-se uma economia considerável, conforme a Tabela 4.12. Não ocorrendo a mesma situação no caso da aplicação de K₂O.

A palavra otimização nem sempre significa menor gasto de insumos; foi o que ocorreu para a aplicação do K₂O, pois, usando AP, obteve-se um maior gasto deste insumo. Mas um menor gasto não quer dizer maior retorno econômico, pois pode causar perda de produção por aplicação insuficiente do insumo. Quando se analisa o mapa do teor de Potássio no Solo, ele indica que 43,81% (Figura 4.12) da área está com nível Baixo; já para Agricultura convencional, constatou-se que o teor de Potássio é Médio no solo para toda área.

Tabela 4.12 – Comparação entre Agricultura convencional frente à de precisão.

Média / ha	P₂O₅	K₂O
Agricultura de Precisão	116	106
Agricultura de Convencional	125	100
Diferença kg/ha	-9	6
Diferença %	-7,2	+5,67

A economia que obteve a Agricultura Convencional ocorreu sobre estes 43,81% (Figura 4.12) da área do mapa, onde necessita uma maior quantidade desse insumo, e que foi considerada com teor Médio de Potássio no solo. Portanto, a aplicação recomendada fica a desejar, por indicar uma quantidade abaixo da realmente necessária. Ou seja, a economia feita, inicialmente na implantação da

cultura, poderá trazer um menor retorno econômico, por obter uma colheita inferior em uma parte da área, provocada por uma fertilização do solo insuficiente, quanto a quantidade de K₂O realmente necessária.

4.6. Referências Bibliográficas

ABREU, S. L. de, et al. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo, da produtividade e da qualidade de grãos de trigo em Argissolo Franco Arenoso sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, mar-abr, 2003. p. 275-282.

AMADO, T.J.C.; SANTI, L. A., VEZANI, F. Agricultura de precisão como ferramenta de aprimoramento do manejo do solo. **Revista Plantio Direto**, 2004. Aldeia Norte Editora, Passo Fundo- RS.

BATISTA, I.F et. al. **Análise espacial da produção de tomate cultivado em ambiente protegido**. Simpósio de Geoestatística Aplicada em Ciências Agrárias, 2009, Botucatu-SP. Disponível em: < <http://www.fca.unesp.br/sgea/Docs/24.pdf>>. Acesso em: 18 out 2009.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1987. 193p.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. New York: Oxford University Press, 1998. 333p.

CAMARGO, E. C. G. **Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geoestatísticos (krigeagem) no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING)**. São José dos Campos, SP. 1997, 124f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997.

CAMARGO, E.C.G. Geoestatística: fundamentos e aplicações. In: Câmara, G.; Medeiros, J.S. eds. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos: INPE, 1998. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf>. Acesso em: 17 out. 2009

CARVALHO, J. R. P. de; SILVEIRA, P. M. da; VIEIRA, S. R.. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesq. agropec. bras.** [online]. 2002, vol. 37, n. 8, pp. 1151-1159. ISSN 0100-204X

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURI, N et. al. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3, p. 249-290.

COELHO, A, M. Agricultura de precisão em sistemas agrícolas. IX SIMPÓSIO NACIONAL CERRADO BRASÍLIA out 2008. Disponível em: < simposio.cpac.embrapa.br/.../palestrapainel11antoniocarlos.pdf >. Acesso em: 17 out 2009

DELFINER, P.; DELHOMME, J. P. Optimum interpolation by kriging. In: Davis, J. C.; McCullagh, M. J. ed. **Display and Analysis of Spatial Data**. New York: John Wiley, 1975. p. 96-114.

DE OLIVEIRA, J. L.; PIRES, F.; MEDEIROS, C. B. An environment for modeling and design of geographic applications. *Geoinformatica*, v. 1, p. 29-58, 1997.

DEUTSCH, C. V.; JOURNEL, A. G. **GSLIB Geostatistical software library and user's guide**. New York: Oxford University Press, 1998. 369p.

EMBRAPA

<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Amora/SistemaProducaoAmoreiraPreta/adubo.htm>

FARIAS, P.R.S.; BARBOSA, J.C.; VIEIRA, S.R.; SÁNCHEZ-VILA, X.; FERRAZ, L.C.C.B. Geostatistical analysis of the spatial distribution of *Rotylenchulus reniformis* on cotton cultivated in crop rotation. **Russian Journal of Nematology**, Moscow, v. 10, p. 1-9, 2002.

FARIAS, P. R. S.; NOCITI, L. A. S.; BARBOSA, J. C.; PERECIN, D. Agricultura de precisão: Mapeamento da produtividade em pomares de cítricos usando geoestatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 2, p. 235-241, 2003.

FELGUEIRAS, C. A. **Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica: o paradigma geoestatístico por indicação**. São José dos Campos, SP. 1999, 203f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - INPE, São José dos Campos, 1999.

FUKS, S. D. Novos modelos para mapas derivados de informações de solos. In: Assad, E. D.; Sano, E. E. ed. **Sistemas de informações geográficas**. aplicações na agricultura. Brasília: Embrapa-SPI / Embrapa-CPAC, 1998. p. 373-410

GOODCHILD, M. F. The state of GIS for environmental problem solving. In: Goodchild, M. F.; Bradley, O. P.; Steyaert L. T. ed. **Environmental modeling with GIS**. New York: Oxford University Press, 1993a. p. 8-15.

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

JOHANN, J. A.; OPAZO, M. A. U. SOUZA, E. G. de; ROCHA J. V. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno distrófico da região de Cascavel, PR. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 2/3, p. 212-219, 2004. Campina Grande, PB, DEAg/UFCG

HEUVELINK, G. B. M. **Error propagation in environmental modelling with GIS**. Bristol: Taylor and Francis Inc, 1998. 127p.

HOEKSEMA, R. J. *et al.* Cokriging model for estimation of water table elevation. **Water Resource Research**, v. 25, n. 3, 1989. p. 429-438.

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

MANZATTO, C.V.; BHERING, S.B.; SIMÕES, M. **Agricultura de precisão: propostas e ações da Embrapa solos**, 1999.

Em: [http:// www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/proj01](http://www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/proj01)

MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its applications**. Paris: Le Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique de Fontainebleu, 1971. 211p.

MCBRATNEY, A. B.; HART, G. A.; MCGARRY, D. The use of region partitioning to improve the representation of geoestatistically mapped soil attributes. **Soil Science of America Journal**. v. 42, 1991. p. 513-532.

MCCULLAGH, M. J. Terrain and surface modeling systems: theory and practice. **Photogrammetric Record**, v. 12, n. 2, p. 747-779, 1988.

MELLO, J. M. de et. al. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n. 69, p. 25-37, dez. 2005.

MOLIN, J.P. **Circuito Brasil de agricultura de precisão**. Etapa Ponta Grossa, 13 e 14 de março de 2000, 34 p.

OLIVER, M. A.; WEBSTER, R. Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 4, n. 3, p. 313-332, 1990.

PETILIO, A.; PEREIRA, M.; PERÃO G.; TAMAE, R. Y. Um breve estudo da viabilidade de aplicação de técnicas de agricultura de precisão. **Revista científica eletrônica de agronomia** – ISSN: 1677-0293. Ano VI – N.11 – Junho de 2007 – Periódico Semestral.Ed. FAEF, 2007.

PIRCE, F.J. & NOWAK, P. **Aspects of precision agriculture**. Adv. Agron., 67:1-85,1999.

PONTELLI, C. B. **Caracterização da variabilidade espacial das características químicas do solo e da produtividade das culturas utilizando as ferramentas da agricultura de precisão**, Santa Maria, RS. 2006, 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

QUEIROZ, D.M.; DIAS, G.P. ; MANTOVANI, E.C. Agricultura de Precisão na Produção de Grãos. In: **Agricultura de Precisão**, Viçosa, MG, 2000.

RAIJ B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. Campinas, Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato, 1991. 93-94p.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo** – planta – atmosfera. 4 ed. Campinas – SP Fundação Cargil. 1984, 445p.

RESENDE, A. V.; SHIRATSUCHI, L. S.; SENA, M. C.; KRAHL, L. L.; OLIVEIRA, J. V. F.; CORRÊA, R. F.; ORO, T. Grades amostrais para fins de mapeamento da fertilidade do solo em área de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2., 2006, São Pedro. **Anais...** Piracicaba: USP: ESALQ, 2006. 1 CD-ROM.

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

ROCHA, N. C. C.; RIBEIRO, J. R. CÂNDIDO, L. G. Levantamentos de manchas indicativas de diferencial de produtividade para definição de zonas de manejo com apoio de imagens de satélites e coletores de produtividade. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, **Anais ...**Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 395-401.

SANTI, A. L., Amado, T. J. C., Pontelli, C.B., Schenato, R.B., Bellé, G.L. , Dellamea, R.B.C., Pés, L. , Pizzuti, L. Indicadores da qualidade e da expressão do potencial produtivo do solo sob sistema plantio direto – dados preliminares. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, **Anais**. Recife, 2005.

SOUZA, Z.M., Silva, M.L.S., Guimarães, D.T.S., Carvalho, M.P., Pereira, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um latossolo vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, 25: p. 699-707, 2001.

SOUZA, L.S. **Variabilidade espacial do solo em sistema de manejo**. Porto Alegre, RS. 1992, 162f. Tese (Doutorado)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

STEIN, A.; HOOGERWERF, M.; BOUMA, J. Use of soil map delineations to improve (co)kriging of point data on moisture deficits. **Geoderma**. v. 43, 1998. p. 163-167.

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. Porto Alegre, RS 2001, 184 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

VIEIRA, S. R. LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 54, n. 2, 1995. p. 405-412.

WACKERNAGEL, H. 1993 **Multivariate Geostatistics**, 2nd ed. Berlin, Germany:Springer-Verlag, 1993.

ZIMBACK, C. R. L. **Elementos de geostatística**. Botucatu: GEPAG, FCA, UNESP, 2003. 23p.

5. CAPÍTULO III

MAPA DE PRODUTIVIDADE

5.1. Introdução

A introdução de novas tecnologias integradas com recursos computacionais, visando produtividade e qualidade, tem sido considerada questão estratégica. Dada a forte vocação agrícola brasileira e a importância do agronegócio no panorama econômico nacional, a pesquisa visando o desenvolvimento da sociedade da informação neste setor é por si só um projeto relevante. Não obstante, a informação é a chave para o sucesso de qualquer atividade e uma atividade pode se aperfeiçoar cada vez mais se a informação sobre ela obedecer ao ciclo de obtenção de novas informações, seguida da interpretação e utilização dessas novas informações, para melhorar a atividade. Dentro deste contexto, a Agricultura de Precisão (AP) é chave para o sucesso na área agrícola.

O advento da AP, com a incorporação de tecnologias avançadas no campo, vem provocando uma nova revolução nos processos, sistemas e métodos do manejo agrícola, trazendo principalmente novas soluções para as questões do aumento da produtividade em conjunto com a redução do impacto ambiental.

Os principais benefícios econômicos, que poderão advir da utilização da AP, serão decorrência da possibilidade de se fazer a aplicação localizada de insumos, cujo objetivo final é colocar sementes, fertilizantes, corretivos, defensivos agrícolas e outros insumos de forma variável em cada campo, nas razões mais adequadas para a produtividade do solo em cada ponto do mesmo e, portanto, reduzir os custos por unidade de produto produzida.

A adoção da AP tem sido feita com critério, realizando, primeiramente, o levantamento da variabilidade presente nos campos produtivos, refletida pela variabilidade espacial da produção. Por este motivo é que o mapeamento da produtividade tem sido o primeiro passo adotado.

Com a variabilidade expressa nos mapas de produtividade, é possível buscar pelos fatores responsáveis pelas diferenças de rendimento no campo produtivo. A informação advinda, por meio da integração temática efetuada através dos mapas

de produtividade e dos mapas obtidos a partir das amostragens realizadas, permite a interpretação e a realização de correlações entre os fatores e a produtividade, de forma a verificar qual a importância de cada um deles.

Dessa forma, o mapa de produtividade tem sido a expressão mais concreta da aplicação dos conceitos de AP, pois seus registros são indicativos da variabilidade inerente às condições do solo e de outros fatores limitantes da produção.

Molin (2001) afirma que, sem dúvida, a melhor informação do resultado de uma lavoura é a colheita. Na agricultura, pela média, essa informação resume-se a um número. Na AP essa informação é o mapa de produtividade que mostra o total colhido para cada pequena porção da lavoura. É uma imagem que representa a variabilidade espacial da produção.

Baseado nestes princípios, o objetivo deste trabalho é, portanto, gerar mapas de produtividade com informações mais próximas o possível da realidade, possibilitando ao produtor obter informações relevantes para que ele possa gerir a propriedade de forma segura, ou seja, minimizando a possibilidade de tomar decisões que venham trazer prejuízos econômicos, ambientais e sociais.

5.2. Revisão de Literatura

5.2.1. Agricultura de Precisão

O aprimoramento do poder de gerenciamento agrícola, através do aumento do nível de informação sobre etapas da produção, tem sido discutido como estratégia de decisão/manejo. No Brasil, a produção de grãos apresenta grande demanda nesta linha, por ser expressiva e de grande potencial de absorção tecnológica.

A AP é uma técnica que vem sendo gradativamente utilizada pelos agricultores brasileiros visando o aumento da produtividade e da competitividade do agronegócio. Embora de adoção ainda lenta, a AP é irreversível e deve ser determinante nos próximos anos para o sucesso do agronegócio.

Dessa forma, a aplicação de técnicas de AP pode gerar um incremento na eficiência de uso dos recursos aplicados, maximizando os lucros e protegendo o meio ambiente pela diminuição do uso indevido dos fatores da produção. Excesso de fertilizantes pode gerar impactos negativos na qualidade do solo e da água e reduzir as margens de lucro, enquanto que a sua falta pode restringir a produtividade e a qualidade da cultura.

Medição e mapeamento da produtividade do campo tem sido a chave do desenvolvimento para a AP, principalmente ao início dos anos 90, quando Searcy et al. (1989) aperfeiçoaram alguns modelos de sensores de fluxo de grãos instalados em colhedoras, que medem a produtividade em intervalos de tempo. Mais tarde essas leituras de produtividade foram associadas a coordenadas de localização geográfica, com a disponibilidade comercial do sinal de GPS. Esta automação da coleta de dados de produtividade permitiu que grandes quantidades de informações fossem disponibilizadas a baixo custo. Entretanto, pode ocorrer a introdução de erros, como, por exemplo, produtividade nula em pontos do talhão devida a falhas do sensor de fluxo de grãos.

Davis (1998) afirma que a AP foi freqüentemente definida com base nas tecnologias que permitem que ela seja realizada com o GPS ou sistemas de taxa variável. Tão importantes quanto os dispositivos usados na AP, é perceber que a informação usada ou coletada é o ingrediente chave para o sucesso do sistema. O conceito de AP se distingue da agricultura tradicional por seu nível de manejo. Em vez de administrar uma área inteira como uma única unidade, o manejo é adaptado para pequenas áreas dentro de um campo/talhão.

Lemos et al (2004) diz que, visto como um sistema de gerenciamento, a AP é uma sequência de atividades que, na sua maioria, exige ferramentas sofisticadas e domínio de novos conhecimentos. Como aplica a Tecnologia de Informação ao agronegócio para possibilitar o gerenciamento de informações georreferenciadas, essa nova filosofia no campo pode ser chamada também de Agricultura da Informação, visto que faz uso das informações advindas de várias áreas do conhecimento (Ciências do Solo, Computação, Ciências Exatas, Geodésia, etc.).

A renovação da forma tradicional de cultivo por meio das técnicas de AP é um objetivo estratégico e está trazendo a agricultura à era digital. Baseado nas práticas da AP é possível integrar um conjunto de tecnologias para melhorar a forma de cultivo tradicional, em acordo com as condições locais. Essa é a grande proposta

atual para resolver o equacionamento da máxima produtividade com mínimos danos ambientais, devido à alocação adequada de insumos (AUERNHAMMER, 2001).

Fazendo uma breve abordagem na História da Civilização, os sistemas de produção agrícola se beneficiaram da incorporação dos avanços tecnológicos originalmente desenvolvidos por outras indústrias. A era industrial trouxe a mecanização e os fertilizantes sintéticos para a agricultura. A era tecnológica ofereceu a engenharia genética e a automação. Finalmente, a era da informação nos traz o potencial para a integração dos avanços tecnológicos na Agricultura de Precisão (WHELAN et al. 2003).

5.2.2. Mapas de Produtividade

A agricultura sempre foi e será de extrema importância para a humanidade. Então, a partir do final do século passado com a liberação do sinal GPS (Global Positioning System) que é a abreviatura de NAVSTAR GPS (NAVSTAR GPS-NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System), houve um aumento das pesquisas nessa área, com o intuito de buscar novas tecnologias, visando minimizar os custos, e maximizar a produtividade. Para o cultivo da soja, uma das técnicas que auxilia na tomada de decisões é o desenvolvimento de mapas de produtividade. Estes podem ser determinados por equipamentos eletrônicos colocados na colhedora, denominado Monitor de Colheita, ou por meio do levantamento de amostras aleatórias através de uma grade regular, ou irregular, que posteriormente, com o uso das técnicas geoestatísticas, permite gerar os mapas temáticos de produtividade e apresentar o raio de dependência espacial das amostras (LAMPARELLI et al., 2001).

A partir da geração de mapas de produtividade, é possível constatar a variabilidade espacial da produção em áreas agrícolas, evidenciando-se que uma área não é homogênea dentro dela, o que leva a produtividades distintas e, conseqüentemente, à rentabilidade econômica variável (CREMONINI, 2002). O autor diz também que as causas da variabilidade podem ser as mais diversas e, portanto, a geração confiável de informação, relacionada às causas ou aos efeitos, torna-se uma ferramenta de grande importância para a tomada de decisões.

A AP torna-se importante não só na visualização das variabilidades espaciais, mas também para um melhor manejo da unidade de produção, e que proporciona ao produtor conduzir, gradualmente, a uma melhoria da qualidade do solo agrícola até alcançar a excelência expressa por, entre outras propriedades, elevado potencial produtivo. Caso contrário, se adotado um manejo inadequado, pode conduzir a um processo de regressão da qualidade do solo até alcançar a degradação, que se expressa por baixas produtividades (VEZZANI, 2001).

Considerando-se a complexidade e o dinamismo dos processos que envolvem os avanços tecnológicos, especialistas têm notado, cada vez mais, que os diversos setores da agricultura não podem ser tratados de maneira homogênea no que diz respeito à medição de variáveis nas áreas agrícolas. Neste sentido, a variação espacial e temporal deve ser considerada para que se possa ter melhor aplicação e aproveitamento dos insumos, e poder assim melhorar a produtividade, reduzir o custo de produção e o impacto ambiental causado pelo excesso utilizado (FARIAS et. al., 2003).

Para Acock e Pachepsky (1997), a variabilidade presente no rendimento das culturas em um mesmo talhão pode ser atribuída a um grande número de fatores: temperatura do solo, temperatura do ar, radiação solar, precipitação, umidade, ventos, nutrientes, profundidade do solo, densidade do solo, presença de plantas daninhas, pragas e doenças, por exemplo. Estes são alguns dos fatores que afetam as culturas e podem causar variabilidade. Os mesmos autores afirmam que a tecnologia disponível hoje, para levantar informações de variabilidade nas culturas, são muitas e bastante avançadas e que somente poder-se-ão realizar intervenções a contento quando se compreender o sistema produtivo como um todo.

Dampney; Moore (1999) sugeriram análise do histórico de desenvolvimento das culturas a fim de caracterizar a variabilidade espacial existente na área. Assim, o mapeamento de produtividade, proporcionado pelas ferramentas da Agricultura de Precisão (AP), destaca-se como alternativa moderna para gerenciar a variabilidade espacial e temporal de lavouras comerciais, orientando práticas de manejo (MOLIN, 1997; MILANI et al., 2006).

Milani et al. (2006) relatam que o manejo localizado tende a apresentar produtividades mais homogêneas e superiores ao manejo uniforme. Para isso, é necessário o acompanhamento e análise de mapas de produtividade, considerando um histórico de várias safras e de diferentes culturas, para que se caracterizem as

variabilidades temporal e espacial (BLACKMORE et al. 2003). Assim, a identificação das regiões onde ocorrem as diferentes variabilidades na produtividade deve ser feita mediante a investigação de pelo menos três anos de mapeamento (MANTOVANI, 2006; SANTI, 2007).

Um dos avanços já obtidos é a demonstração de que as formas tradicionais de se trabalhar na agricultura não permitem o entendimento ou a visualização dos reais problemas nas áreas produtivas. Em muitos casos o produtor sabe da existência da variabilidade, mas não consegue definir sua localização e, muito menos, quantificá-las. Um bom ponto de partida pode ser um mapa de produtividade o qual, revela pontos importantes e surpreendentes pela riqueza de informações. Com a informação da existência de variabilidade na produtividade na área é necessário buscar as causas deste comportamento iniciando-se um processo de investigação caso a caso. A caracterização das condições da fertilidade do solo através de amostragens programadas e criteriosas, avaliações das condições físicas e biológicas do solo, histórico de manejo e condições climáticas vigentes podem ser outras opções (VEZZANI 2001).

Blackmore (1998) propôs uma metodologia para melhorar a interpretação de mapas de produtividade obtidos ao longo de vários anos, pretendendo com isso identificar unidades de manejo distintas. A metodologia permite a obtenção de mapas representando a tendência e a estabilidade temporal do rendimento das culturas.

A AP permite intenso acompanhamento e sintonia do sistema de produção agrícola. Os produtores podem fazer análises econômicas baseadas na variabilidade da produtividade da cultura numa gleba, para obter uma estimativa precisa do risco envolvido. No exemplo oferecido por Zhang et al. (2002), um produtor poderia verificar que, em 70% das vezes, 75% da cevada cultivada na gleba resultaria numa produtividade de 3,8 toneladas por hectare. Sabendo dos custos de insumos envolvidos na produção, os produtores podem calcular também o retorno monetário sobre os custos para cada hectare.

5.2.3. Obtenção de Mapa de Produtividade

Foi no início dos anos 90, quando o sistema GPS tornou-se disponível para usuários, e possibilitaram sua utilização em sistemas cartográficos de produtividade, que os primeiros mapas de produtividade foram gerados (HANEKLAUS et. al., 2000). A partir daí, o mapeamento da produtividade é considerado por muitos pesquisadores como sendo uma parte essencial da AP (MENEGATTI, 2002). Consideração esta que é compartilhada por Molin (2000), ao enfatizar que o ponto de partida tido por usuários e pesquisadores para se visualizar a variabilidade espacial das lavouras é, sem dúvida, um mapa de produtividade, que materializa a resposta da cultura.

A aquisição de dados de produtividade e de posição, baseada em sensores montados sobre colhedoras de cereais, aperfeiçoados ao final dos anos 80 por Searcy et al. (1989), resultaram na criação de mapas de produtividade e na considerável diminuição do esforço para obtê-los. Borgelt (1993) descreveu também várias técnicas das quais algumas são utilizadas atualmente na medição de fluxo de sólidos, como fluxo de massa, medidas volumétricas etc.

Balestreire (1998), Pecze et al. (1999), e Chung et al. (2000) consideram que a geração de mapas de produtividade é a fase que apresenta maior facilidade de execução dentro do ciclo da AP. Devido à grande variedade de equipamentos e pesquisas, principalmente sobre colheitas de cereais, mais especificamente sobre soja e milho, pode-se coletar grande quantidade de informações sobre a área, a um baixo custo operacional (SCHUELLER, 2000).

Os monitores atuais coletam dados sobre a produtividade da cultura com intervalo de 1 a 5 segundos e essa informação é associada com o posicionamento, pelo “Sistema Global de Posicionamento”, sem correção diferencial (GPS) ou com correção diferencial (DGPS). Esses conjuntos de dados são combinados à sintaxe Latitude, Longitude e produtividade, e geralmente armazenados num cartão PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association) de capacidade de memória variável, no formato computacional “Comma Delineated ASCII ou ADIS”.

Alguns sistemas podem ainda incluir dados adicionais no cartão de memória, como data, tempo do DGPS, qualidade do sinal DGPS, umidade dos grãos,

velocidade de deslocamento, largura da plataforma de corte e altitude, que são fornecidos ao monitor a partir de um conjunto de sensores instalados na colhedora, que são: sensor dielétrico de umidade dos grãos, sensor de velocidade do elevador dos grãos limpos e sensor de velocidade da roda motriz, sensor de fluxo dos grãos e do sensor DGPS (BLACKMORE & MARSHALL, 1996).

A coleta de dados de produtividade por colhedora deve ser acompanhada de cuidados operacionais, uma vez que fatores como a largura efetiva de corte da plataforma, entrada e saída da lavoura, número de manobras e a limpeza do sensor de rendimento estão entre os mais importantes para a obtenção de dados confiáveis. Sob este aspecto, a cultura do milho apresenta vantagens em relação às demais, pois permite que o operador tenha controle efetivo sobre a largura de corte da plataforma. Já nas culturas da soja e trigo, este controle é dependente da habilidade e atenção do operador, sendo fonte recorrente de erros nos mapas de produtividade.

Além disso, o sensor de rendimento, durante a colheita de soja, apresenta maior acúmulo de impurezas e necessita de limpezas frequentes. Este fato é minimizado na cultura do milho, pela característica da planta e da altura de corte, que diminui a entrada de solo na plataforma (SANTI, 2007). Por isso considera-se que o mapa de produtividade da cultura do milho seja mais eficiente para discriminar a variabilidade espacial das lavouras.

Toda a logística desse novo método de trabalho em agricultura está num ciclo de atividades que vão da coleta dos dados de interesse em campo, seguidos da construção dos mapas de produtividade e outros indicadores, da análise desses mapas, diagnóstico (identificação do(s) “culpado(s)” pela baixa produtividade onde ela se manifestar) até a correção pontual das variáveis que apresentaram influência sobre a produtividade do cultivo. É consenso que o mapa de colheita é a informação mais completa para se visualizar a variabilidade espacial das lavouras. Sem dúvida, a melhor informação do resultado de uma lavoura é o total colhido. Entretanto, sabe-se que é uma informação que apresenta suas limitações e erros.

Várias outras ferramentas estão sendo propostas e testadas, visando sempre identificar a variabilidade existente em uma área, como as fotografias aéreas, as imagens de satélite e a localização de focos de infestação de doenças, pragas ou invasoras. Resumidamente, existem três modos de se conhecer tal variabilidade: continuamente (monitoramento), discretamente (amostragem pontual do solo ou do

cultivo) e remotamente (através de fotografias aéreas). Como a AP está objetivada na influência da variabilidade espacial das propriedades do cultivo sobre o rendimento da produção, o monitoramento é o coração desta filosofia (Plant RE.). Essa nova filosofia tem levado ao uso tecnologias tais como o sensoriamento remoto, os sistemas de informações geográficas (GIS), o GPS, sensores em tempo real e/ou quase real, entre outras.

5.2.4. Zonas de Manejo

Zona de manejo é definida como uma parte de uma gleba que expressa um arranjo considerado homogêneo dos fatores limitantes da produção pelos quais uma determinada taxa de um insumo específico é apropriada (DOERGE, 2000). Destarte, as zonas de manejo numa gleba podem ser diferentes para diferentes insumos e a delimitação das zonas de manejo para um determinado insumo envolve apenas os fatores que influem diretamente a eficiência daquele insumo em atingir seu objetivo (ZHANG et al., 2002).

As zonas de manejo podem variar dentro de um mesmo talhão para cada um dos fatores analisados, mas pode-se simplificar essas zonas através do mapa de produtividade. Desta forma, divide-se as áreas por faixas de produtividade.

O estabelecimento das zonas de manejo considera os procedimentos convencionais incorporando informações obtidas pelo mapa de colheita, amostragem em grade de solo e, se possível, de planta e conhecimento do produtor. Abaixo estão listadas algumas características locais que devem auxiliar no estabelecimento das zonas de manejo segundo (DOERGE, 2000):

- Característica quantitativa estável: topografia, carbono orgânico do solo, pH, mapas de levantamento de solos de alta intensidade (escala 1:2.000 ou, no máximo, 1:5.000) e propriedades hidrológicas;
- Característica quantitativa dinâmica: mapa de colheita, distribuição e intensidade de infestação de plantas daninhas e aparência da cultura;
- Característica qualitativa estável: cor do solo, teor de nutriente pouco móvel no solo (p.ex., Fósforo), padrões de infestação de pragas e doenças, profundidade do solo e aspecto da drenagem do solo;

- Característica intuitiva ou histórica: conhecimento do produtor, histórico de manejo na área, culturas passadas e rotações de culturas.

No entanto, grande parte dos trabalhos de pesquisa tem sido conduzida em pequenas glebas, focando princípios de experimentação como tamanho da malha amostral, dependência espacial das variáveis analisadas e métodos geoestatísticos para definição de zonas de manejo, redução do número de amostras e aplicação de insumos em taxa variada. Poucas são ainda as informações que contemplam os ganhos práticos e as melhorias no SPD a partir da adoção de manejo localizado, empregando ferramentas da AP em condições e realidade comercial de lavoura no Sul do Brasil, seja na evolução da fertilidade do solo ou na produtividade das culturas (SANTI, 2007).

5.2.5. Fontes de erros

As fontes mais comuns de erros são: suavização, calibração de volume, largura incorreta da plataforma, e tempo de enchimento da colhedora. Blackmore; Marshall (1996) citam ainda os erros de posicionamento, de quantidade, consequência da recirculação de grãos no mecanismo de trilha e retrilha, perdas de grãos pela colhedora e a acurácia do sensor de fluxo. O sensor de fluxo baseado no princípio de detecção de massa não está sujeito a influências devido à variação da densidade dos grãos. Até o momento, nenhuma compensação automática foi feita para os sistemas que medem a produtividade baseados no princípio volumétrico (MOORE, 1998). O mesmo autor, estudando a variabilidade espacial da densidade do grão em seis talhões durante três anos, encontrou variações de até 16% na densidade, com média de 9,76%.

Como a captação dos dados é realizada por sensores e medidores de produção e de área, a própria automação do processo pode proporcionar a coleta de dados irreais. Para uma correta interpretação é necessária sua identificação e remoção. Alguns dos erros mais comuns encontrados nos arquivos advindos do campo referem-se a dados coletados em condições estáticas (colhedora parada), erros de posicionamento, ausência de sensor de umidade e erros de leitura do

sensor de fluxo de grãos (MENEGATTI, 2002); e aqueles referentes à calibração do volume, largura incorreta de plataforma e tempo de enchimento da colhedora (MOORE, 1998).

Segundo Larscheid (1997), com base em ensaios conduzidos com sensores volumétricos, a densidade do grão deve ser medida pelo menos cinco ou seis vezes por dia, caso contrário erros sistemáticos ocorrerão, permitindo que os dados se tornem inexatos. Quanto maior o número de recalibrações da densidade de grãos, maior será a acurácia do sistema.

A maioria dos monitores de produtividade comercial possui sensores de umidade dos grãos (MOORE, 1998). Sttrot et al.(1993) trabalharam com um monitor de produtividade Claydon Yield-o-meter medindo continuamente a produtividade numa cultura de milho em dois talhões de quatro hectares. Compararam o peso fornecido pelo monitor com aquele obtido em um vagão de pesagem e observaram que o erro de totalização foi de $-3,78\%$ para o talhão 1 e $-3,25\%$ para o talhão 2, caracterizando uma situação em que o monitor media consistentemente pesos inferiores aos reais.

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

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

Feita a coleta dos dados e as respectivas filtragens necessárias, pode-se gerar mapas de produtividade da área. Em que pese isso, a definição de unidades de gerenciamento, considerando as particularidades diferenciadas e específicas de cada área, pode depender da integração de modelos descrevendo processos contínuos entre o sistema solo e o ambiente ecológico (SÁ, 2001). Ao interpretar um mapa de produtividade, com a finalidade do futuro gerenciamento do campo, devem-se levar em conta as causas consistentes da variabilidade (CAMARGO et al, 2004). A análise de uma sequência de mapas de produtividade, nesse caso, pode ser uma forma de definir tais unidades de manejo em uma área e possibilitar a compreensão, o acompanhamento e a análise das possíveis causas e fatores que influenciam essa variabilidade durante safras seguidas (FRAISSE, 2006).

5.3. Material e Métodos

5.3.1. Material

Os dados de produtividade foram coletados com máquina equipada com sensor de coleta de grãos durante a colheita de soja da safra 2009/10. Instalado em uma colhedeira Massey modelo 32 Advance com motor AGCO SISU Power 620 DS 6,6 Litros com 200 CV equipada com sensor de colheita no elevador de grão do tipo ótico fabricado pela Stara.

5.3.2. Metodologia

A metodologia do presente trabalho baseia-se na realização de análise dos dados através de histogramas que apresentam a amplitude destes. Utilizando-se as rotinas de AP do Sistema CR-Campeiro 7, serão feitas filtragens dos dados, com o propósito de dar coerência aos mesmos e assim obter o mapa de produtividade com valores confiáveis.

Todos os procedimentos constantes neste trabalho utilizaram as rotinas de AP do Sistema CR-Campeiro 7.

5.4. Resultados e Discussão

No sistema CR-Campeiro 7 existe uma função que possibilita ao usuário a visualização espacial dos dados e também realizar a filtragem desses dados, conforme mostra a Figura 5.2. Caminho (Figura 5.1): Sistema de Agricultura de Precisão> Agricultura de Precisão> Mapas de Rendimento> Edição de Arquivo VPP.

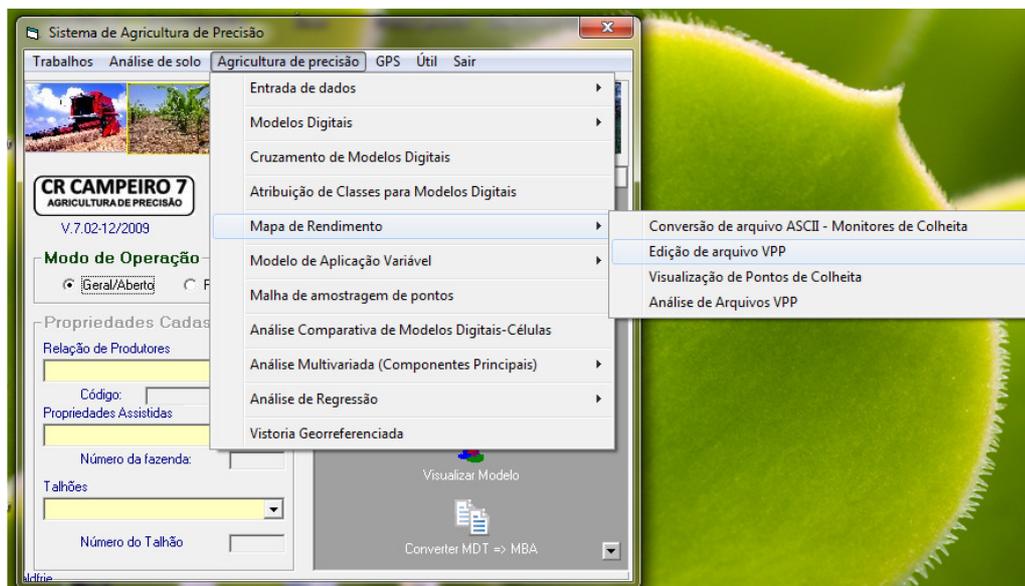


Figura 5.1 – Acessos à tela Mapa de Produtividade.

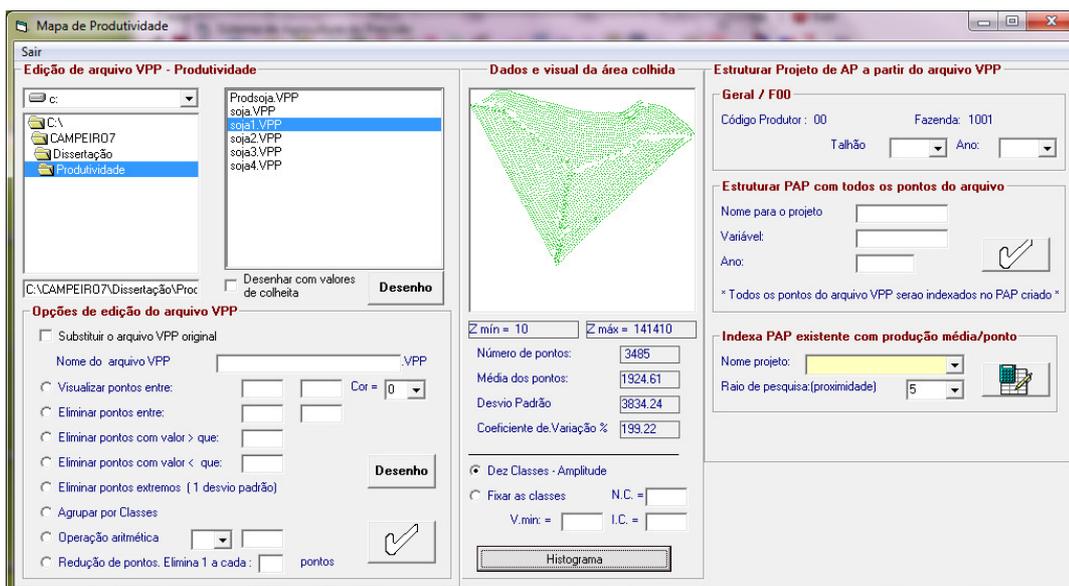


Figura 5.2 – Visualização e filtragem dos dados

A Figura 5.3 mostra a distribuição dos pontos por intervalos. Pode-se constatar que os valores dos pontos de colheita estão concentrados até 7.070 kg/ha, mas existem alguns pontos totalmente discrepantes com valores chegando a 142.505 kg/ha.

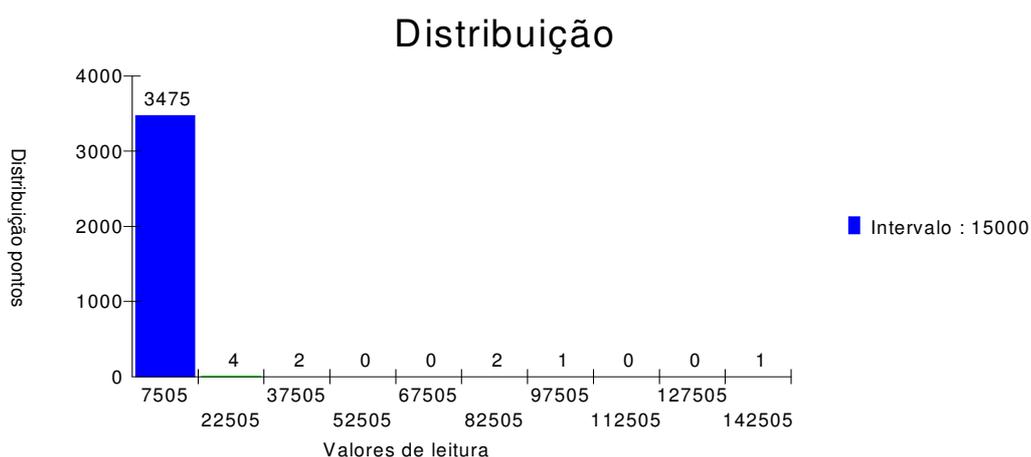


Figura 5.3 – Histograma da distribuição dos pontos sem filtragem.

Assim, torna-se necessário realizar uma filtragem, a qual elimine pontos que estão muito discrepantes dos dados reais de colheita dessa área. Na primeira

filtragem foram eliminados pontos com valores menores que 20 kg/ha de produtividade, porém o histograma é idêntico ao apresentado acima.

O histograma da Figura 5.4 apresenta os valores com filtragem, em que se eliminaram os valores maiores que 7.000 kg/ha.

Verifica-se que há apenas 6 pontos com produtividade acima de 5.720 kg/ha, o que acarreta a necessidade de se fazer mais uma filtragem. Depois de uma filtragem, retirando pontos com valores acima de 5.800, os pontos acima de 5.720 kg/ha tornam-se apenas 5, ou seja, há apenas um ponto acima de 5.800 kg/ha.

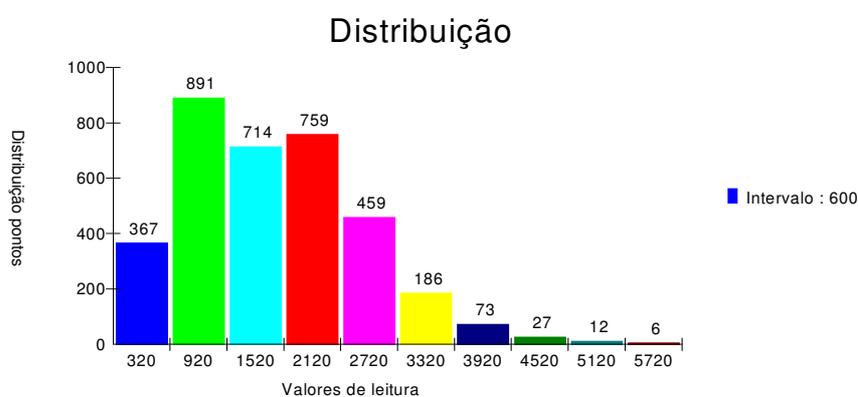


Figura 5.4 – Histograma da Distribuição dos Pontos com eliminação de valores acima de 7.000 kg/ha

A Figura 5.5 mostra o histograma que foi produto de uma filtragem de eliminação de pontos acima de 5.800 kg/ha, permitindo a obtenção de valores bem coerentes com a produtividade da soja. Desta forma, os dados estão agora prontos para a confecção de um mapa de produtividade.

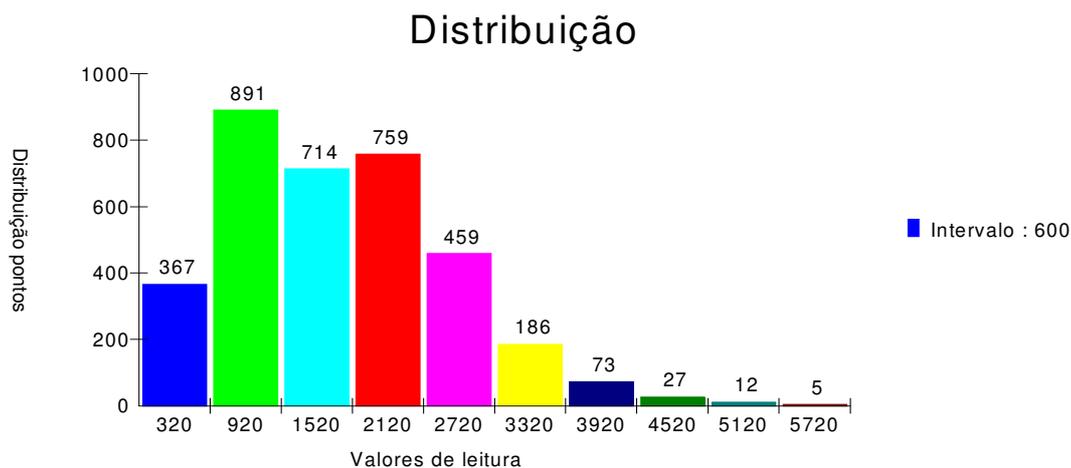


Figura 5.5 – Histograma da distribuição dos pontos com valores acima de 5800 kg/ha.

A Figura 5.6 mostra o resultado da distribuição espacial dos pontos, podendo-se já localizar onde estão os pontos com valores de produtividade indicada pelo gradiente de cores.

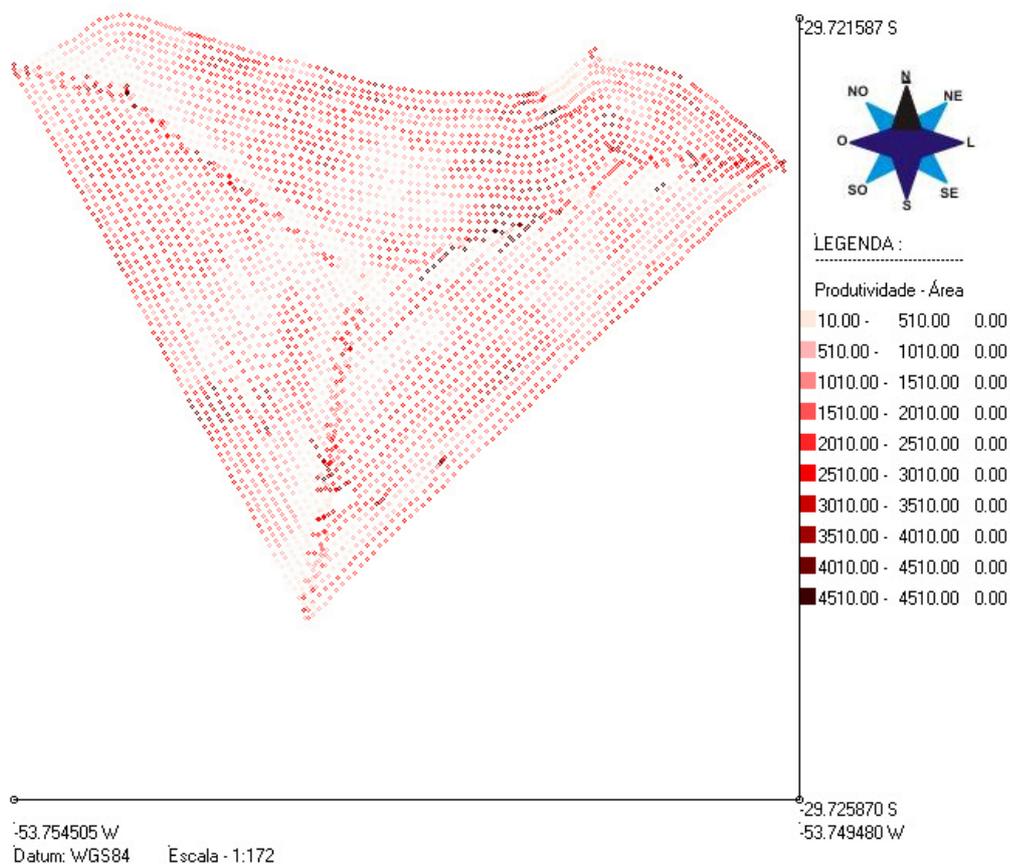


Figura 5.6 – Distribuição espacial dos pontos com valores de produtividade

A Figura 5.7 mostra o número de pontos dentro de cada intervalo de produtividade.

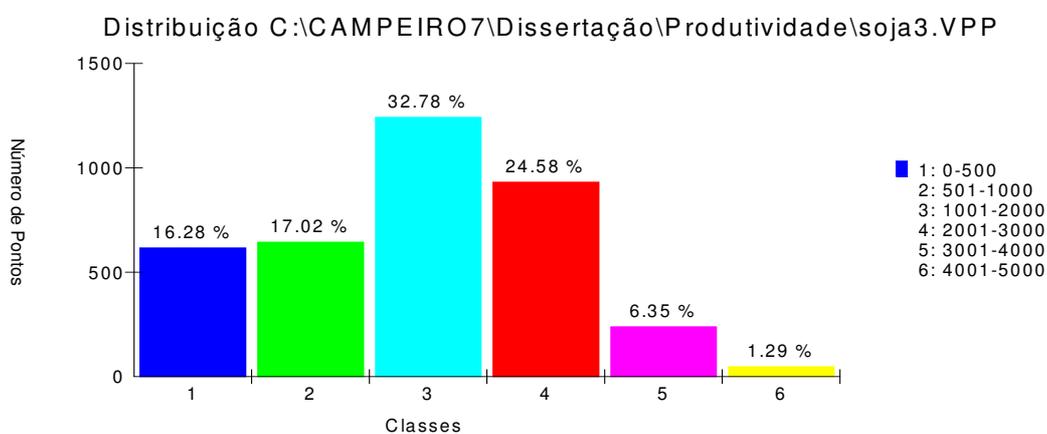


Figura 5.7 – Número de pontos por classes de produtividade

A Figura 5.8 mostra o mapa da lavoura por classes de produtividade, com cores mais escuras indicando maior produtividade. Esse mapa tem uma distribuição da produtividade de 10 classes a partir de 20 kg/ha, com intervalos de 600 kg/ha, chegando à última classe que contém pontos acima de 5.420 kg/ha.

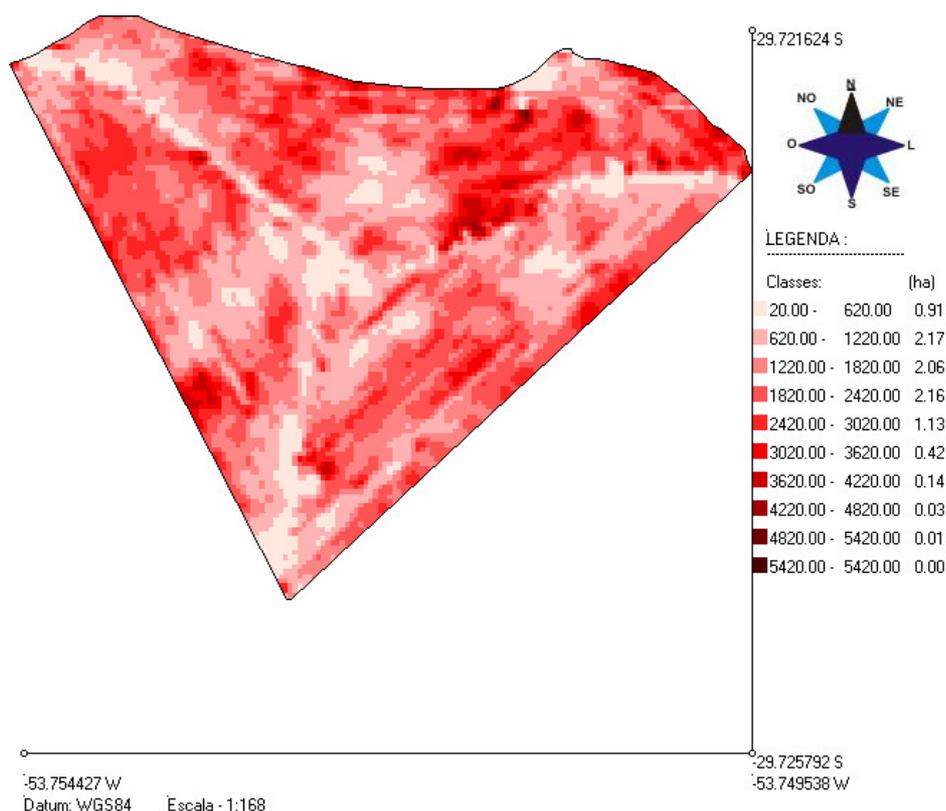


Figura 5.8: Mapa de Produtividade, com dez classes de produtividade.

5.5. Conclusões

Com base no objetivo proposto foi possível confeccionar um mapa de produtividade coerente com a realidade ocorrida no campo, que o torna uma ferramenta importante para a gestão da propriedade rural. Desse mapa podem-se retirar muitas informações quando associado a outras informações, como o histórico da área, possibilitando chegar a um nível de administração detalhado do retorno econômico, dentro do talhão, metro a metro, por exemplo.

Pode-se ainda concluir, sobre o sistema CR-Campeiro 7, que este é um software com ferramentas muitíssimo úteis, aptas para auxiliar o usuário na gestão das informações de sua propriedade e também aos profissionais que prestam serviço na área de AP, cooperando com os empresários rurais na aquisição e gerenciamento das informações de suas propriedades.

5.6. Referências Bibliográficas

ACOCK, B., PACHEPSKY, Y. Holes in precision farming: mechanistic crop models. In: **Precision Agriculture**. ASA-CSSA-SSSA, Madison, 1997, p. 397-404.

AUERNHAMMER H. **Computers and Electronics in Agriculture**, 30, p. 31-43, 2001.

BLACKMORE, B. S., GODWIN, R. J., TAYLOR, J.C., COSSER, N.D., WOOD, G. A., EARL, R., KNIGHT, S., **Understanding variability in four fields in the United Kingdom**, Proc. 4th International Conference on Precision Agriculture, Minnesota, 1998, p. 3 – 18.

BLACKMORE, B. S.; LARSCHEID, G. Strategies for managing variability. In: **European Conference on Precision Agriculture**, 1, 1997, Warwick, UK. Warwick: Warwick University Conference Centre.

Disponível em: <www.silsoe.cranfield.ac.uk/cpf/>.

BLACKMORE, B.S.; MARCHALL, C. J. Yield mapping; errors and algorithms. In. International Conference on Precision Agriculture, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings...** Madison: ASA; CSSA; SSSA, p. 403–415. 1996.

CAMARGO, W.P.; SOUZA, A.B.M.; NAGUMO, G.K.; MOLIN, J.P. Análise temporal da produtividade espacial de mapas de produtividade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2004, Piracicaba, SP. **Anais...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2004. CD ROM 1.

CHUNG, S. O.; SUNG, J. H.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T.; HYUN, B.K. Spatial variability of yield, chlorophyll content, and soil properties in a Korean rice paddy field (Compact disc). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5. Madison, 2000, **Proceedings...** Madison: ASA, 20, p. 2000.

CREMONINI, L. C. M. **Acurácia de mapas altimétricos obtidos com DGPS na colheita de cereais**. Piracicaba, SP. 2002. 61f. (Dissertação Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002.

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. 661-673.

DAVIS, G.; CASADY, W.; MASSEY, R. Precision Agriculture: as introduction. In: **Water quality**. University of Missouri-System. 1998. p. 08. Disponível em: <<http://www.fse.missouri.edu/mpac/pubs/wq0450.pdf>> Acesso em: 28 ago. 2004.

DOERGE. T. A. **Journal of Production Agriculture**. Johnston, IA 50131. USA, 1999.

DOERGE, T. A. **Management zones concepts**. Site-specific management guidelines, Potash & Phosphate Institute, n. 2, p. 1-4, 2000. Publicação Seriada.

FARIAS, P. R. S.; NOCITI, L. A. S.; BARBOSA, J. C.; PERECIN, D. Agricultura de Precisão: mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geoestatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 25, n. 2, ago. 2003. p. 235-241.

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

LAMPARELLI, R.A.C.; ROCHA, J.V.; BHORGUI, E. Geoprocessamento e agricultura de precisão - Fundamentos e Aplicações. Guaíba: **Agropecuária**, 2001. v. 1. 118 p.

LEMO S. G.; NOGUERIA A. R. A.; TORRE-NETO A. A agricultura na era da informação: desafios e propostas para automação em análises de solos **Revista Analytica**, Dezembro/Janeiro, 2004, n. 08 p. 42-50.

MANTOVANI, E.C. **Agricultura de precisão na Embrapa**. Brasília: [s.n.], 2006. 8p. Disponível em:
[http://www.ripa.com.br/fileadmin/user_upload/temp/Projeto Agricultura de Precisao-Junho_2006.doc](http://www.ripa.com.br/fileadmin/user_upload/temp/Projeto_Agricultura_de_Precisao-Junho_2006.doc). Acesso em: 9 jul. 2007.

MILANI, L.; SOUZA, E.G. de; 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. Agricultura de precisão, parte I: o que é e estado da arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, v. 17, p. 97-107, 1997.

MOLIN, J.P. Geração e Interpretação de Mapas de Produtividade para Agricultura de Precisão. In: BOREM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. L. **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p. 237-258).

MOORE, M. **An investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management**. Silsoe College, Cranfield University. 1998, 371 p. (Ph.D. Thesis). POCKNEE, S.
<http://nepsal.cpes.peachnet.edu/pa/home/main.asp>. Soil Sampling. Acessado em 01/06/2000.

PECZE, Z.; NEMÉNYI, M.; KISS, E.; PETRÓCZKI, F. Investigation of the accuracy of the RDS yield mapping system. In.: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2., Denmark, 1999. Programme abstracts (poster session 2) list of exhibitors. Denmark: **BIOS Scientific Publishers**, 1999. p. 50.

Plant RE. **Computers and Electronics in Agriculture**, 30, p. 9-29, 2001.

SÁ, T. D. de A.; Alegre, J. Práticas agroflorestais visando o manejo de vegetações secundárias: uma abordagem com ênfase em experiências amazônicas. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 3., 2000, Manaus, AM. **Palestras...** Manaus, AM: Embrapa Amazônia Ocidental, 2001. (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos; 17) p. 102-115, 2001.

SANTI, A. L. **Relações entre Indicadores de Qualidade do Solo e a Produtividade das Culturas em Áreas com Agricultura de Precisão.** 2007. 175 f.. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS.

SEARCY, S.W. **Precision farming:** A new approach to crop management. Texas Agricultural Extension Service. The Texas A&M University System, 1997. p. 4. Disponível na Internet. <http://agpublications.tamu.edu/pubs/eengine/I5177>. pdf em 22 Mar. 2000.

SCHUELLER, J. K. O estado da arte da agricultura de precisão nos Estados Unidos. In: BALESTREIRE, L. A. (Ed.). **O estado da arte da agricultura de precisão no Brasil.** Piracicaba, 2000. p. 08-15.

SCHULZE, D. G. An introduction to soil mineralogy. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Eds.) **Minerals in soil environments.** SSSA, Madison, 1989, p. 1-34.

STTOT, B. L.; BORGELT, S. C.; SUDDUTH, K. A. Yield determination using an instrumented Case combine. In: **Asae Winter Meeting**, Chicago, 1993. Chicago: ASA; CSSA; SSSA, p. 1507-1521. 1993. (ASAE Paper 93-1507).

WHELAN, B.M., MCBRATNEY, A.B., BOYDELL, B.C. 2002. **The impact of precision agriculture.** Disponível em: <http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa/pag.htm>. Acessado em: 18 de fevereiro de 2003.

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

ZHANG, N., WANG, M., WANG, N. Precision agriculture – a worldwide overview. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 36, p. 113-132, 2002.

6. CONCLUSÃO GERAL

Conforme foi especificado, tanto na Introdução, em Objetivo Geral, como em Objetivos Específicos, a elaboração dessas pesquisas, realizadas com ferramentas do sistema computacional CR-CAMPEIRO 7, conjunto de programas elaborado no Departamento de Engenharia Rural, da Universidade Federal de Santa Maria, para a realização do plano de amostragem, é de simples e de fácil execução para o usuário, auxiliando-o no planejamento e na coleta das amostras do solo, e possibilita a elaboração de um plano de caminhamento dentro do talhão, podendo tornar a coleta das análises mais rápida e mais eficiente. Com a maior agilidade da coleta pode-se proporcionar economia de despesas financeiras, por meio do menor gasto com mão-de-obra e também do consumo de combustível, caso essa coleta seja feita de forma mecanizada.

A avaliação da fertilidade, através da integração de mapas temáticos ou sobreposição de modelos digitais, torna-se muito mais precisa quando ocorre variação de um ou de outro atributo, ou de ambos simultaneamente, pois, em cada ponto dentro da área, são avaliados os dois ou mais atributos, para se chegar a uma conclusão sobre a qualidade pontual do solo dentro da área de estudo.

Na criação de um mapa de fertilidade, nota-se que é de fundamental importância fazer previamente uma filtragem dos dados para se eliminarem valores que destoam da realidade do conjunto de dados, o que possibilita a criação de um Mapa de Fertilidade com informações confiáveis.