UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO POLITÉCNICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRICULTURA DE PRECISÃO

DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO EM LAVOURAS AGRÍCOLAS A PARTIR DE MAPAS DE PRODUTIVIDADE: ESTUDO DE CASO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Márcio Adair Barato

Santa Maria, RS, Brasil

2014

DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO EM LAVOURAS AGRÍCOLAS A PARTIR DE MAPAS DE PRODUTIVIDADE: ESTUDO DE CASO

Márcio Adair Barato

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Área de Concentração em Tecnologia em Agricultura de Precisão, do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Orientador: Prof. Dr. Ênio Giotto

Santa Maria, RS, Brasil

2014

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

Barato, Márcio Adair
Definição de zonas de manejo em lavouras agrícolas a partir de mapas de produtividade: estudo de caso / Márcio Adair Barato.-2014.
70 p.; 30cm

Orientador: Ênio Giotto
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, RS, 2014

1. Agricultura de precisão 2. Mapa de produtividade 3. Sensor de massa 4. Sensor de umidade I. Giotto, Ênio II. Título.

© 2014
Todos os direitos autorais reservados a Márcio Adair Barato. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.
E-mail: mbbarato@gmail.com

Universidade Federal de Santa Maria
Colégio Politécnico
Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão

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

DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO EM LAVOURAS AGRÍCOLAS A PARTIR DE MAPAS DE PRODUTIVIDADE: ESTUDO DE CASO

elaborada por
Márcio Adair Barato

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agricultura de Precisão

COMISSÃO EXAMINADORA:

Ênio Giotto, Prof. Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Marçal E. C. Dornelles

Marçal Elizandro de Carvalho Dornelles, Dr. (John Deere)

Fabricio Ardais Medeiros, Dr. (UFPEL)

Santa Maria, 26 de setembro de 2014.

Dedico este trabalho...

... à minha família.

... aos meus amigos.

... à equipe do suporte ao produto e engenharia de campo da John Deere Brasil.

... aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão da Universidade Federal de Santa Maria.

AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares e pais pelo apoio e incentivo.

À Universidade Federal de Santa Maria**,** instituição onde ampliei os meus conhecimentos possibilitando a realização deste programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão.

Aos grandes amigos e Professores pelo companheirismo e apoio durante este período de orientação.

À Coordenação e Colegiado de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão da Universidade Federal de Santa Maria.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, por seus ensinamentos passados.

O Autor

“Se queremos progredir, não devemos repetir a história, mas fazer uma história nova”.

(Mahatma Gandhi)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão
Universidade Federal de Santa Maria

DEFINIÇÃO DE ZONAS DE MANEJO EM LAVOURAS AGRÍCOLAS A PARTIR DE MAPAS DE PRODUTIVIDADE: ESTUDO DE CASO

AUTOR: MÁRCIO ADAIR BARATO
ORIENTADOR: PROF. DR. ÊNIO GIOTTO
Santa Maria, 26 de setembro de 2014.

Com base nos mapas de produtividade e as análises realizadas dos locais proporciona ao produtor rural agir pontualmente nestas áreas de baixa produtividade para maximizar sua produção. Este trabalho demonstra a importância da agricultura de precisão em utilizar os mapas de produtividade nas propriedades rural para ajudar a determinar pontos de baixa produtividade nas áreas colhidas, desta forma possibilita ser realizada análise destes locais para determinar qual é o fator que está gerando esta baixa produtividade. Para o desenvolvimento deste trabalho e geração dos mapas de produtividade foi utilizado o sistema de Solução em Gerenciamento Agrícola (AMS) e equipamentos da John Deere. A área do estudo é de 19 ha (190.000 m²) localizados no município de Faxinal - PR obteve-se desta área, mapas de produtividade de um período de três anos totalizando cinco mapas, que foram utilizados para realizar a interpolação. Para a realização da interpolação e ajustes dos mapas utilizaram-se os programas Apex® e CR Campeiro®, o resultado final desta interpolação foi a geração do mapa mostrando as zonas de manejo da área de estudo onde, no decorrer deste período, a produtividade manteve uma tendência nas regiões de baixa, média e alta produtividade do talhão, estas regiões representaram 5,95%, 86,25% e 7,80% respectivamente. Com base no mapa com as áreas de zona de manejo possibilitará a análise das regiões menos produtivas do talhão para maximizar a produção.

Palavras-chave: Agricultura de precisão. Mapa de produtividade. Sensor de massa. Sensor de umidade.

ABSTRACT

Master Thesis
Post-graduate Program in Precision Agriculture
Federal University of Santa Maria

FIELD PRODUCTIVITY EVOLUTIVE ANALYSIS

AUTHOR: MÁRCIO ADAIR BARATO
ADVISOR: DR. ÊNIO GIOTTO
Santa Maria, September 26th, 2014.

Based on productivity maps and data analysis it is possible for the producer to check and act over the low yielding areas, maximizing the final productivity that way. This paper intents to show the importance of the usage of precision agriculture maps on farms in order to help farmers to determine low yielding areas and act over it, improving productivity. This paper and the generated maps referred during the text were made using John Deere equipment and AMS (Agricultural Management Solutions). The studied area is a 19ha (190.000m²) total area, located at Faxinal, Paraná state. Five maps were analyzed totaling a 3 years range period of samples that were used later for interpolation. The interpolations and adjustments done were made using Apex® and CR Campeiro® software. The output of this interpolation is a single map that shows some tendencies for some areas to present low, medium and high yield. Those regions represent 5,95%, 86,25% and 7,80% respectively. This map is a base for the final analysis that will provide information to develop and increase productivity in low yielding areas.

Keywords: Precision Agriculture. Yield Map (or “Productivity Map”). Mass Sensor. Moisture Sensor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do município de Faxinal – PR. 28
Figura 2 – Localização da propriedade rural no município de Faxinal – PR. 29
Figura 3 – Figura ilustrativa do conjunto mecanizado. 30
Figura 4 – Sensor de produtividade e sensor de teor de umidade de grãos. 31
Figura 5 – Monitor de produtividade durante a calibração de rendimento. 32
Figura 6 – Sensor de teor de umidade dos grãos em abastecimento. 33
Figura 7 – Sensor de teor de umidade dos grãos removendo a massa de grãos. 33
Figura 8 – Monitor de produtividade, calibração de umidade. 34
Figura 9 – Receptor StarFire® 3000. 35
Figura 10 – Monitor GS 2630. 36
Figura 11 – Limite de contorno do talhão. 38
Figura 12 – Tela da conversão de arquivos Shapefile para VPP. 39
Figura 13 – Tela com a tabela de dados DBF. 40
Figura 14 – Dimensionamento da malha. 41
Figura 15 – Malha de amostragem de colheita. 41
Figura 16 – Dados georeferenciados de projeto de AP. 42
Figura 17 – Seleção do talhão. 43
Figura 18 – Pontos amostrais. 44
Figura 19 – Relação dos pontos amostrais (E, N, Z). 44
Figura 20 – Estrutura conceitual de um modelo digital 45
Figura 21 – Função de Estruturação do MDT. 46
Figura 22 – Recuperação do PAP. 48
Figura 23 – Geração do MDT. 49
Figura 24 – Tela de analise por células. 51
Figura 25 – Células. 52
Figura 26 – Média dos modelos. 53
Figura 27– Gráfico do semivariograma. 54
Figura 28 – Precisão do MDT. 55
Figura 29 – Relatório da análise de precisão do modelo. 56
Figura 30 – Tela de visualização dos modelos digitais dos mapas de produtividade. 57
Figura 31 – Visualização de MDT em Classes variáveis. 58
Figura 32 – Mapa de produtividade – Soja 2010. 59
Figura 33 – Mapa de produtividade – Trigo 2010. 60
Figura 34 – Mapa de produtividade – Soja 2011. 61
Figura 35 – Mapa de produtividade – Trigo 2011. 62
Figura 36 – Mapa de produtividade – Soja 2012. 63
Figura 37 – Mapa de zonas de manejo 64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo das áreas de produtividades. 63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Determinação de zonas de manejo.....50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMS	– Solução em Gerenciamento Agrícola
AP	– Agricultura de Precisão
CV	– Cavalo vapor
DBF	– *Data Base File*
ESALQ	– Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
GLONASS	– Sistema Orbital Global de Navegação por Satélite
GNSS	– *Global Navigation Satellite Systems*
GPS	– *Global Positioning System*
ha	– Hectare
IAPAR	– Instituto Agronômico do Paraná
PAP	– Projeto de Agricultura de Precisão
PR	– Paraná
RS	– Rio Grande do Sul
RTK	– *Real Time Kinematic*
SHP	– *Shapfile*
SIG	– Sistemas de Informações Geográficas
SR	– Sensoriamento remoto
UFSM	– Universidade Federal de Santa Maria
UNICAMP	– Universidade Estadual de Campinas
USP	– Universidade de São Paulo
UTM	– Universal Transversa de Mercator
VPP	– Vetor de Pontos de Produtividade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **14**

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **16**
2.1 Agricultura de precisão **16**
2.2 Sistemas de navegação global por satélites (GNSS) **17**
2.3 A agricultura de precisão no Brasil **18**
2.4 Benefícios da agricultura de precisão **20**
2.5 Mapas de produtividade **21**
2.6 Análise geoestatística **24**
2.7 Modelo digital **25**
2.8 Programas computacionais **26**

3 MATERIAL E MÉTODOS **28**
3.1 Caracterização da área de estudo **28**
3.2 Máquinas e equipamentos utilizados **29**
3.4 Exportação dos dados de colheita **36**
3.5 Geração dos mapas de produtividade utilizando o CR Campeiro® **37**
3.5.1 Cadastro das informações da propriedade rural 37
3.5.2 Vetorização do limite de contorno do talhão 37
3.5.3 Conversão e edição do arquivo VPP (Vetor de Pontos de Produtividade) 38
3.5.4 Malha de amostragem dos mapas de produtividade 40
3.5.5 Projeto de Agricultura de Precisão (PAP) 41
3.5.6 Estruturação do PAP 42
3.5.7 Análise geoestatística 45
3.5.8 Geração do Modelo Digital do Terreno (MDT) 45
3.5.9 Etapas da geração do MDT 46
3.6 Definições de zonas de manejo **50**
3.7 Interpolação dos mapas de produtividade **50**

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO **54**
4.1 Análise geoestatística **54**
4.2 Análise de precisão do MDT **55**
4.3 Visualização do Modelo Digital dos mapas de produtividade **56**
4.3.1 Mapas de produtividades 58
4.4 Visualização do modelo digital do mapa de zonas de manejo **63**

5 CONCLUSÃO **65**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **66**

1 INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira é uma das mais avançadas do mundo, mas o fenômeno de globalização da economia obriga muitos produtores rurais a buscar, constantemente, novas tecnologias, principalmente no que se diz respeito à agricultura de precisão.

A agricultura de precisão não consiste de uma tecnologia única, mas de um conjunto de técnicas que permitem o gerenciamento detalhado de culturas e suas atividades agrícolas. Trata-se de uma ferramenta de apoio para tomada de decisões no processo produtivo com o objetivo de redução de custos e aumento da produtividade nas propriedades agrícolas.

Um dos grandes benefícios, hoje, na agricultura de precisão é a geração de mapas de produtividade que possibilita ao produtor ter uma imagem e acompanhamento da produtividade das lavouras.

Os mapas de produtividade fornecem informações para avaliação do balanço de nutrientes e na avaliação de manchas de fertilidade, desta forma, permite organizar a lavoura em zonas específicas de manejo, contribuindo para a eficiência no controle de todo o sistema. A geração e a interpretação de mapas de produtividade de culturas agrícolas são segmentos da agricultura de precisão (AP) onde pesquisadores e fabricantes de máquinas agrícolas estão dando uma atenção especial devido sua importância no contexto do entendimento do processo da variabilidade espacial da produção agrícola e na definição de ações de manejo agronômico, os quais possibilitam o aumento e manutenção sustentável dos índices de produtividade de uma lavoura.

A interpretação do mapa de produtividade é imprescindível para a correção dos fatores de produção que persistem ao longo do tempo, tais como, variação do tipo do solo na área plantada, acidez do solo em locais específicos e deficiência de fertilidade.

O objetivo geral desse trabalho foi realizar uma análise da produtividade de uma área agrícola em um determinado período, para delimitar zonas de produtividade da lavoura.

Os objetivos específicos são:

- Gerar os mapas de produtividade nos diferentes anos de produção.
- Interpolar os mapas de produtividade dos diferentes anos de produção e cultura.
- Analisar as zonas de manejo obtidas pela interpolação dos mapas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Agricultura de precisão

A agricultura de precisão (AP) surgiu há muito anos, antes mesmo do período da Revolução Industrial, com agricultores que tinham por finalidade maximizar a produção física e econômica das culturas, variando a aplicação de insumos de acordo com os tipos de solos e o desempenho das culturas, em busca de melhor rendimento produtivo (KELLOG, 1957).

No início, o tipo de agricultura predominante era a familiar, desta forma, cada agricultor possuía conhecimento da sua área produtiva, o que lhe permitia observar e dar tratamento localizado a suas lavouras, conhecendo cada pedaço da sua terra, praticando a AP, embora de forma empírica e de baixa tecnologia (MOLIN, 2001).

O conceito inicial da AP tem sua origem em 1929 onde alguns pesquisadores estudaram a variabilidade da acidez dos solos e, a partir de tal variabilidade foi possível a aplicação de calcário ponto a ponto para a correção de tal acidez (ELIAS, 1998).

Goering (1993) relata que os pesquisadores Bauer e Linsley em 1929 recomendaram amostragem de solo utilizando o processo de malhas em 100 metros quadrados para determinar no campo a necessidade de aplicação diferencial de calcário, na época, alguns agricultores obtiveram reduções significantes nos custos de produção com aplicação diferenciada de insumo.

Com o avanço tecnológico, a AP passou a ser considerados pela indústria, como solução integrada composta por sistemas elétricos, eletrônicos, mecânicos e computacionais. Conforme mencionado por Searcy (1995), o uso extensivo deste grande número de dados exige a utilização de sistemas de aquisição e análise dos dados, sistemas computacionais de processamento e suporte à decisão e equipamentos automáticos destinados à realização de operações em campo.

A proposta da agricultura de precisão é permitir que fosse realizado aquilo que sempre foi feito pelo pequeno agricultor, entretanto, em larga escala e

agregando todo o conhecimento acumulado pelas Ciências Agrárias até o presente momento (MOLIN, 2002).

Balastreire et al. (1997), descrevem a agricultura de precisão como sendo um conjunto de técnicas que auxilia no gerenciamento localizado das culturas ou propriedade. Visando o gerenciamento mais detalhado do sistema de produção agrícola, seu objetivo não está somente direcionado para aplicações dos insumos ou de mapeamento de produtividade de lavouras, mas a todos os processos envolvidos na produção.

Mantovani (2000) define o termo agricultura de precisão, como sendo o uso de tecnologias atuais para o manejo de solo, insumos e culturas, de modo adequado às variações espaciais e temporais em fatores que afetam a produtividade das mesmas. Esse recurso empregado na agricultura tem levado o uso de três tecnologias, que são o SR (Sensoriamento Remoto), o SIG (Sistemas de Informações Geográficas) e o GPS (Sistema de Posicionamento Global).

Os fundamentos para a agricultura de precisão atual surgiram no início do século XX, com o desenvolvimento de microcomputadores, sensores e *softwares*, o que a tornou viável para os produtores (LAMPARELLI, 2013).

Com a mecanização agrícola, foi possível manejar, economicamente, as culturas em grandes áreas utilizando recursos como mapeamento dos fatores de produção, ferramentas de suporte, a decisão e aplicação correta e localizada de insumos. Com o desenvolvimento do GPS, os equipamentos tecnológicos embarcados sobre máquinas agrícolas, tornaram-se capazes de identificar a variabilidade espacial e temporal e, assim, permitir aplicação variada de insumos (fertilizantes, herbicidas, inseticidas, pesticidas) por meio de visualização gráfica dos monitores (ANTUNIASSI et al., 2013).

2.2 Sistemas de navegação global por satélites (GNSS)

O desenvolvimento dos sistemas de direcionamento ocorre após a popularização dos GNSS, no ano de 1990. O sistema GPS teve sua constelação de satélites formada em 1993, sendo que este sistema foi projetado de modo que, a qualquer momento e, em qualquer lugar do planeta, existam ao menos quatro

satélites acima do plano horizontal do observador (DORNELLES, 2014 *apud* BLITZKOW, 1995).

Conforme Stanfford (1996), o GPS tem facilitado as atividades que necessitam de posicionamento, fazendo com que algumas concepções antigas possam ser colocadas em prática. Um exemplo claro é o que ocorre com o desenvolvimento da agricultura de precisão, um conceito estabelecido por volta de 1929, que só agora tem sido posto em prática, graças à interação de várias geotecnologias.

Segundo Monico (2007), o GPS é um sistema de radionavegação desenvolvido pelo DoD (*Department of Defese* - Departamento de Defesa dos Estados Unidos), cuja visão, permite que um usuário, em qualquer local da superfície terrestre tenha sempre à sua disposição, no mínimo, quatro satélites artificiais, para que consiga realizar o posicionamento em tempo real.

Para Sebem et al. (2010), O GPS permite aos usuários determinar suas posições em coordenadas cartesianas retangulares X, Y, Z em relação ao centro de massa da Terra (0, 0, 0) e, posteriormente, convertê-las coordenadas elipsoidais expressas em latitude, longitude e altura elipsoidal h.

2.3 A agricultura de precisão no Brasil

De acordo com Pires et al. (2004), no Brasil, as primeiras ações de pesquisa na área foram realizadas na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo (ESALQ-USP) em 1997, onde o trabalho inovador na cultura de milho resultou no primeiro mapa de variabilidade de colheita do Brasil. Após isso, um crescente foco de pesquisa em Agricultura de Precisão foi iniciado por instituições de ensino como a própria ESALQ-USP, UNICAMP, Embrapa, Fundação ABC, IAPAR, UFSM, além de numerosas empresas privadas do setor agrícola e tecnológica e de cooperativas de produtores (PIRES et al., 2004).

As práticas mais comuns de AP no Brasil, conforme Resende et al. (2013), realizadas por pesquisadores, instituições de ensino e áreas experimentais são:

- Direcionamento via satélite;
- Mapeamento de produtividade;

- Monitoramento da produtividade;
- Variação de taxas de insumos, principalmente adubo e corretivos;
- Mapeamento de fertilidade;
- Divisão das áreas em zonas de manejo uniformes.

O cenário mundial caracteriza-se, atualmente, pela globalização dos mercados, pela crescente aceleração tecnológica e pela democratização da informação e do conhecimento, fazendo com que o setor agrícola nacional passe a utilizar novos conceitos, métodos e técnicas, para poder atender as necessidades dos consumidores, fornecendo produtos com qualidade, preços mais acessíveis e possibilitando maior competitividade no mercado mundial. Os conceitos sobre agricultura de precisão têm despertado interesses, alguns autores estão considerando como a “terceira onda” na agricultura, sendo a mecanização com tração animal, a primeira e, a com equipamentos motorizados, segundo Balastreire (2000).

Atualmente, AP pode ser vista como um sistema integrado totalmente dependente de sistemas eletrônicos, mecânicos e computacionais, responsáveis pelo levantamento de dados em campo com condições dinâmicas e elevado número de dados. O uso extensivo deste elevado número de dados exige a utilização de sistemas computacionais de processamento e equipamentos automáticos destinados à realização de operações em campo (SEARCY, 1995).

A utilização de um sistema de navegação, capaz de fornecer o posicionamento geográfico de uma pessoa e equipamentos no campo, é também indispensável para o sucesso da agricultura de precisão (ELIAS, 1998).

Balastreire e Baio (2002) descrevem que grandes avanços na agricultura de precisão foram possíveis devido às técnicas eficientes de geoposicionamento, como o GPS ou GNSS e da utilização de tecnologias como o SR e SIG.

A AP permite realizar por meio de delimitação de lavouras por coordenadas georeferenciadas, um planejamento do manejo de nutrientes, plantas daninhas, pragas e também permite a seleção de cultivares em função de sua adaptação às diferentes condições identificadas nas áreas cultivadas. A expectativa de redução de custos está, principalmente, relacionada ao fato de que os insumos agrícolas

somente serão aplicados em regiões potenciais que realmente necessitam destes (SILVA et al., 2013).

Há alguns anos, a AP vem sendo adotada em países tecnologicamente mais desenvolvidos como os Estados Unidos e Canadá com retorno econômico bastante significativo, dentre estes países mencionados, os Estados Unidos é o país que mais utiliza este tipo de tecnologia (SILVA et al., 2013).

No Brasil, a AP está sendo muito bem aceita por produtores tecnicamente qualificados, que estão dispostos a encarar mudanças sem resistência, este público faz seu planejamento financeiro e trabalha seus custos e benefícios econômicos resultantes da adoção desse sistema de produção. Contudo, as análises e a percepção dos usuários apontam para uma relação custo-benefício bastante favoráveis, obter informações sobre a viabilidade econômica da agricultura de precisão é essencial para a adoção desta nova técnica pelos agricultores (SILVA et al., 2013).

2.4 Benefícios da agricultura de precisão

A AP consiste de um conjunto de técnicas que envolvem máquinas, equipamentos, programas computacionais e pessoal especializado, com o objetivo de fornecer benefícios às propriedades agrícolas, por meio de uma ferramenta mais apurada no que diz respeito ao gerenciamento agrícola, colocando à disposição tecnologias que proporcionam informações capazes de transformar a atividade agrícola em empresarial. Nesta lógica de atuação, há necessidade de profissionais com visão holística, capazes de inter-relacionar todas as informações que envolvem a agricultura (FOCHT et al., 2004).

Para planejar e implementar adequadamente técnicas para resolução de problemas e que resultem em incrementos de produtividade, se faz necessária a caracterização da área trabalhada. Para tanto, são imprescindíveis diferentes metodologias de caracterização, tal como a malha de amostragem, proposta por Roloff e Focht (2002).

O foco principal da AP no conceito de utilização de técnicas e estratégias que visem minimizar perdas, com o uso de precisão, que permita a aplicação e

localização de recursos com acurácia. Assim, os sistemas de manejos tradicionais, com ineficiente tratamento da variabilidade de fatores que afetam a produção (fertilidade, umidade, controle fitossanitário) pela média de extensas áreas de produção, podem dar lugar a estratégias econômicas e ecologicamente mais eficientes (ZAMBOLIM et al., 2008).

2.5 Mapas de produtividade

Para Molin (2014), mapa de produtividade de uma lavoura é um conjunto de vários pontos. Cada ponto deste representa uma pequena amostra da lavoura, sendo que, o dado mais importante é a quantidade de grãos colhidos naquele determinado ponto, é importante e necessário conhecer a posição espacial deste ponto.

O mapa de produtividade comparado é considerado como principal ferramenta para identificar a variabilidade espacial das lavouras (MOLIN, 2002). Inúmeras ferramentas estão sendo sugeridas e testadas na tentativa de identificar manchas com valores distintos de produção em uma área, ferramentas como imagens de satélite, fotografias aéreas e a videografia. Mas, nenhuma informação demonstra com maior fidelidade as condições de cultivo do que a resposta da cultura em produtividade (MOLIN, 2002).

A geração e a interpretação de mapas de produtividade são o setor em AP onde pesquisadores e fabricantes de máquinas agrícolas dão maior atenção devido à sua importância no entendimento da variabilidade espacial e definição de manejo agronômico, possibilitando aumento e manutenção dos índices de produtividade (SILVA et al., 2014).

A produtividade agrícola também pode indicar o comportamento das operações de gerenciamento agrícola, uma vez que contém todos os fatores que influenciaram no desenvolvimento do cultivo. Como o lucro da propriedade depende, basicamente, da quantidade e qualidade do cultivo, os mapas de produtividade tornam-se uma parte vital de um sistema de agricultura eficiente (SILVA et al., 2014).

A interpretação do mapa de produtividade é importante para a correção dos fatores de produção que continuam ao longo do tempo, tais como, variação do tipo

do solo na área plantada, acidez do solo em locais específicos, deficiência de fertilidade (CAPELLI, 2004).

Para a geração do mapa de produtividade é necessário que a colhedora possua os acessórios listados a seguir (SILVA et al., 2014):

- Sensor de produtividade.

Dentre os sistemas pesquisados, grande parte dos sistemas usados atualmente para monitorar a produtividade de grãos, o sensor é encontrado montado no topo do elevador de grãos limpos.

- Sensor de umidade de grãos.

O sensor do tipo capacitivo é o mais utilizado para medir o teor de umidade dos grãos colhidos. Sua localização, geralmente, ocorre no sistema de transporte do grão, dentro do elevador de grãos limpos, próximo ao sensor de produtividade.

- Sensor de velocidade de colheita.

São quatro os tipos de sensores disponíveis no mercado para medir a velocidade de deslocamento da colhedora:

A. Sensor magnético;

B. Radar;

C. Ultrassom;

D. Receptor GNSS.

- Sensor indicador da posição da plataforma da colhedora.

É um sensor que emite um sinal para o monitor de colheita quando o cabeçote da colhedora está na posição levantado, mostrando desta forma, a interrupção momentânea da colheita. Esse sensor ajuda a controlar o cálculo da área colhida e obtenção de dados de colheita incorretos, emitindo apenas um sinal de interrupção de coleta de dados.

- Monitor de funções das operações.

O monitor de funções das operações é montado na cabina da colhedora, conectado a todos os sensores e permite monitorar todas as operações que estão sendo medidas para calcular o mapa de produtividade. O monitor permite ao operador da máquina fornecer informações ao sistema sobre as especificações do

equipamento, informar dados de referência da cultura colhida, fornecendo, desta maneira, informações que facilitarão posterior avaliação do mapa de produtividade.

- Receptor GNSS (*Global Navigation Satellite Systems)*.

A unidade de posicionamento da colhedora consiste em um receptor GNSS. Este receptor registra a posição atual da colhedora baseando-se em dados enviados por satélites visíveis orbitando ao redor da Terra. Os dados coletados pela colhedora são armazenados em um cartão de memória, para posterior transferência em um computador, visando serem processados em um programa SIG para a visualização dos mapas de produtividade.

Benefícios do mapa de produtividade**:**

- Tem-se uma radiografia das áreas colhidas;
- Auxilia na correção de problemas;
- Permite monitorar a evolução das correções realizadas;
- Podem-se definir as zonas de manejo;
- Identificar falhas na lavoura;
- Aumentar a produtividade;
- Verticalizar produção (produzir mais onde responde mais).

A determinação da variabilidade de rendimento de grãos torna-se uma ferramenta importante para a tomada de decisões no manejo de áreas agrícolas, possibilitando o conhecimento dos fatores determinantes do rendimento (SANTI, 2007).

Lark et al. (1999), *apud* Molin (2002), consideram que a análise de uma sequência de mapas de produtividade é uma forma de definir zonas de manejo em um talhão, associando-as às características de solo.

A integração de modelos digitais de fatores químicos, físicos e biológicos do solo, combinada com a espacialização da produtividade é, possivelmente, a alternativa mais completa para o aperfeiçoamento do manejo do solo. (LIMA; SILANS (1999), *apud* ALBA et al., (2011).

2.6 Análise geoestatística

Um PAP (Projeto de Agricultura de Precisão) é um conjunto de dados de uma variável contínua, cujos pontos amostrais encontram-se georeferenciados dentro de um espaço de referência (GIOTTO et al., 2013).

A análise geoestatística fornece um conjunto de elementos para interpretar a aleatoriedade dos dados da variável, considerando que os mesmos tenham uma dependência entre si no espaço de referência, determinando assim, que os dados dessa variável apresentem continuidade espacial, o que estabelece uma função de correlação espacial (GIOTTO et al., 2013).

O semivariograma é uma das ferramentas mais utilizadas para representar a continuidade espacial de uma função aleatória em uma determinada direção de um vetor. Assim, o estudo da continuidade ou dependência espacial da variável em estudo é realizado por meio dessa ferramenta (GIOTTO et al., 2013).

De acordo com Duarte (2000), o semivariograma é um método geoestatístico para diagnosticar a presença da correlação entre as unidades amostradas.

A krigagem é uma técnica usada na geoestatística para estimar valores para locais não amostrados, considerando os parâmetros do semivariograma, que resulta em valores sem tendência e com variância mínima (SILVA et al., 2008).

O inverso do quadrado das distâncias é um modelo matemático utilizado na interpolação de dados, o modelo baseia-se na dependência espacial, isto é, supõe que quanto mais próximo estiver um ponto do outro, maior deverá ser a correlação entre seus valores. Dessa forma, atribui maior peso para as observações mais próximas do que para as mais distantes. Assim, o modelo consiste em se multiplicar os valores das observações pelo inverso das suas respectivas distâncias ao ponto de referência para a interpolação dos valores (VARELLA, 2014).

Landim (2000) descreve alguns pontos sobre o método do inverso do quadrado das distâncias, como:

- Modelo mais utilizado dentre os métodos de distância ponderada;
- Método utilizado para interpolação e geração de MDT (modelos digitais de terreno);

- O peso dado durante a interpolação é tal que a influência de um ponto amostrado em relação a outro, diminui conforme aumenta a distância ao nó da grade a ser estimado;
- Pontos amostrados de localização próxima ao nó a ser estimado recebem peso maior que os pontos amostrados de localização mais distante;
- Os resultados são variáveis, desde altamente tendenciosos a favor dos pontos mais próximos a resultados onde o peso é, praticamente, o mesmo para todos os pontos próximos.

2.7 Modelo digital

No sistema de AP do programa computacional CR Campeiro®, pode-se definir Modelo Digital de Terreno (MDT) como sendo uma representação matemática contínua da distribuição espacial das variações do valor de um determinado atributo numa área definida. Como atributo pode-se listar a altitude do local, variáveis de solo, clima e planta (GIOTTO et al., 2013).

Originariamente, o termo MDT era aplicado para representação da variação altimétrica do relevo de um determinado local, entretanto, pela razão da similaridade de estruturação e representação de modelos matemáticos de variáveis de solo, entre outros, optou-se em manter esta designação também para estes tipos de modelos no sistema (GIOTTO et al., 2013).

A estruturação do MDT é condição inicial para a execução das tarefas, tais como: mapas de fertilidade, produtividade e de aplicação à taxa variável, bem como para análises diversas como cruzamentos, correlações entre variáveis. (GIOTTO et al., 2013).

O MDT é gerado a partir de um conjunto de pontos georeferenciados, isto é, de posição planimétrica conhecida, através de suas coordenadas UTM, E (Longitude) e N (Latitude), e consiste em uma grade de formato quadrado ou retangular, sendo que a intersecção de linhas e colunas desta grade recebe a denominação de “nó”, sendo o valor do atributo (Z) associado a este ponto (nó) calculado a partir de processos interpolativos de métodos geoestatísticos (GIOTTO et al., 2013).

O MDT consiste basicamente em se ter em cada nó da grade, as coordenadas E, N, Z; sendo que as coordenadas planimétricas E, N são calculadas a partir da definição da origem da grade e os respectivos espaçamentos, entre as linhas e colunas; enquanto que a coordenada Z, é calculada por processo estatístico de interpolação, através de algoritmos específicos (GIOTTO et al., 2013).

2.8 Programas computacionais

- Apex®

O Apex® é um programa computacional com ferramentas SIG (Sistemas de Informações Geográficas) de gerenciamento de mapas e informações coletadas em campo, incluindo algumas ferramentas de gerenciamento da frota agrícola. O programa permite criar e manipular os mapas gerados em campo pelo sistema de mapeamento de produtividade (JOHN DEERE, 2013).

O programa permite gerenciar custos e rastreabilidade associados a variáveis como talhões, culturas, variedades, produtividade, máquinas, fertilizantes, agroquímicos, dentre outros (JOHN DEERE, 2013).

- CR Campeiro®

O CR Campeiro® é um projeto de extensão rural do Departamento de Engenharia Rural do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria (GIOTTO, 2014).

O CR Campeiro® é baseado sobre um sistema computacional integrado, com inúmeras ferramentas de gestão e de análises técnicas, que irão auxiliar seus usuários no alcance de seus objetivos (GIOTTO, 2014).

O Sistema de Agricultura de Precisão do CR Campeiro®, é um programa para a gestão de procedimentos que envolvem o uso de geotecnologias como sistemas de posicionamento global (GPS) aplicados no manejo de culturas agrícolas, seja em mapeamentos de fertilidade do solo, mapa de produtividade e aplicação localizada de insumos (GIOTTO, 2014).

A utilização da tecnologia na AP está diretamente relacionada ao manejo da variabilidade espacial e temporal de diversas variáveis de solo, planta e clima que influenciam na produtividade de uma cultura, bem como, os processos envolvidos na implantação, condução e colheita (GIOTTO, 2014).

As rotinas do programa executam procedimentos de estruturação de malhas de amostragem de planta e solo, interface com GPS, geração de modelos matemáticos de produtividade e fertilidade por métodos geoestatísticos, permitindo ainda análises e interpretação destes modelos em um processo de gestão integrada que são expressos em mapas, relatórios e gráficos (GIOTTO, 2014).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

O presente estudo desenvolveu-se no município de Faxinal, no Estado do Paraná, a Figura 1 representa sua localização no mapa.

Figura 1 – Localização do município de Faxinal – PR

Fonte: Adaptado a partir de Google, 2014.

O município possui uma área de 715,943 km² representando 0,3592 % do estado, 0,127 % da região e 0,0084 % de todo o território brasileiro. Localiza-se a uma latitude 23°56'27" Sul e a uma longitude 51°35'16" Oeste.

O solo predominante é a Terra Roxa (Nitossolo vermelho) sendo sua topografia: 70% plana, 20% ondulada e 10% acidentada.

O clima é subtropical úmido, com tendência de concentração das chuvas de verão acima do paralelo 24º Sul, sem estação seca definida. A temperatura média anual é de 19°C, sendo a média anual das máximas de 23°C e média anual das mínimas de 15°C (Prefeitura Municipal de Faxinal, 2014).

A propriedade rural onde foram coletados os dados de produtividade tem uma área de 19 ha, a Figura 2 identifica a área de estudo. Nesta área foram coletados dados de mapas de produtividade dos anos 2010, 2011 e 2012 das cultivares soja e trigo.

Suas coordenadas são: Latitude 23°57'29" Sul; Longitude 51°15'5" Oeste, e altitude média de 1.017,64 m.

Figura 2 – Localização da propriedade rural no município de Faxinal – PR
Fonte: Adaptado a partir de Google Maps, 2014.

3.2 Máquinas e equipamentos utilizados

Para a realização da colheita na área de estudo e geração dos dados de campo utilizou-se o conjunto mecanizado conforme Figura 3, disponível na propriedade, e composto por:

- Colhedora da marca John Deere, modelo 9570 STS com motor de 275 cv de potência nominal e capacidade do tanque graneleiro de 8.800 litros.
- Plataforma de corte da marca John Deere, modelo Hydraflex 625 com largura de colheita de 7,62 m.

Figura 3 – Figura ilustrativa do conjunto mecanizado
Fonte: John Deere.

Para a geração dos dados de colheita que possibilitam a geração dos mapas de produtividade foi necessário uso dos componentes abaixo montado sobre a colhedora e um sistema SIG para realizar o armazenamento e tratamento dos dados coletados.

- Sensor de produtividade

O sensor de produtividade encontra-se montado no topo do elevador de grãos limpos conforme Figura 4. O sensor utilizado nesta máquina é um sensor de impacto, os grãos são acelerados pelas pás do elevador de grão limpo e lançados

contra a placa, a deformação da placa é medida estabelecendo uma relação de massa.

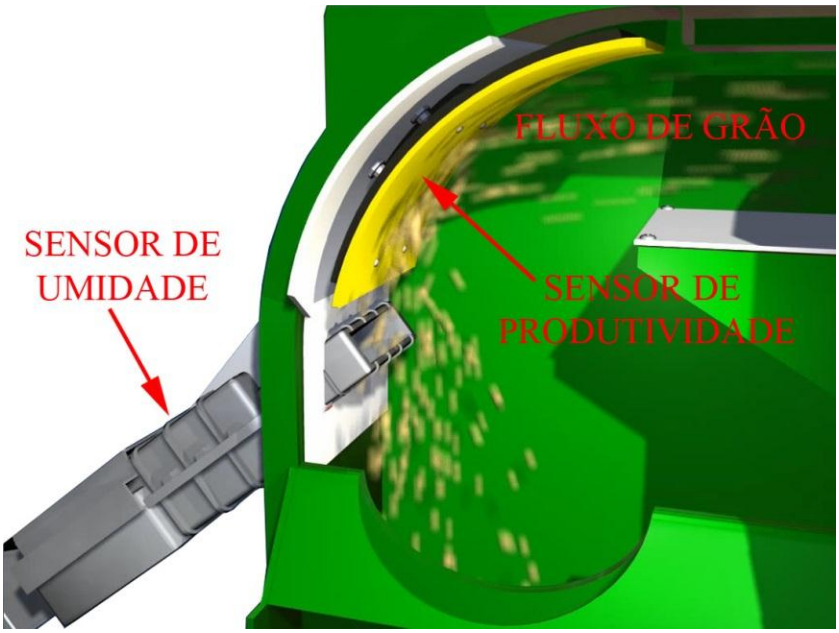

Figura 4 – Sensor de produtividade e sensor de teor de umidade de grãos
Fonte: John Deere

Realizou-se a calibração do sensor de produtividade para obter valores mais próximos do real. A calibração do sensor envolveu a comparação dos valores de pesos de várias cargas obtidos pelo sensor e o valor do peso obtido em balança. Os valores reais dos pesos das cargas são digitados no monitor de produtividade onde o programa do monitor de produtividade estabelece então, a curva de calibração para realizar a correção (Figura 5).

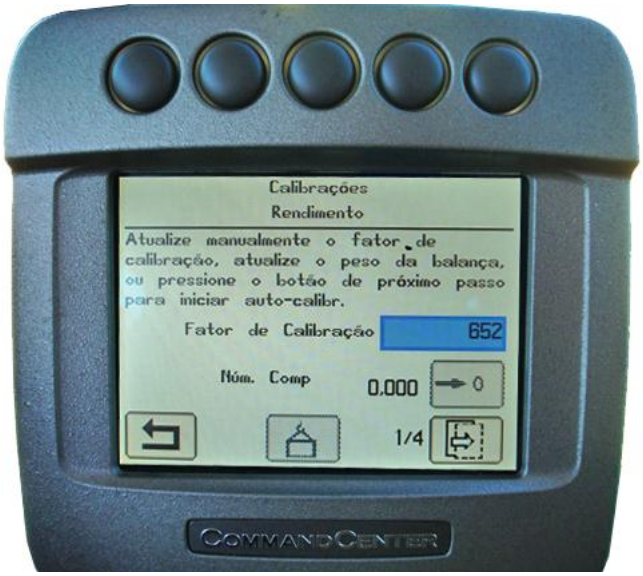

Figura 5 – Monitor de produtividade durante a calibração de rendimento
Fonte: John Deere.

- Sensor de teor de umidade de grãos

O sensor de teor de umidade de grãos encontra-se montado no topo do elevador de grãos limpos, logo abaixo do sensor de produtividade. O próprio fluxo de grãos abastece a câmara de processamento do sensor de umidade conforme (Figura 6), após a leitura feita pelo sensor, o êmbolo localizado dentro da câmara de leitura do sensor de umidade se estende removendo a massa de grãos já analisado (Figura 7), o êmbolo se retrai novamente para realizar uma nova leitura de umidade dos grãos. Pode-se configurar a frequência de leitura até três leituras por minuto.

O funcionamento deste sensor é do tipo capacitância, ele mede a constante dielétrica dos grãos entre as placas de um capacitor, a umidade dos grãos é determinada pelas propriedades dielétricas dos grãos.

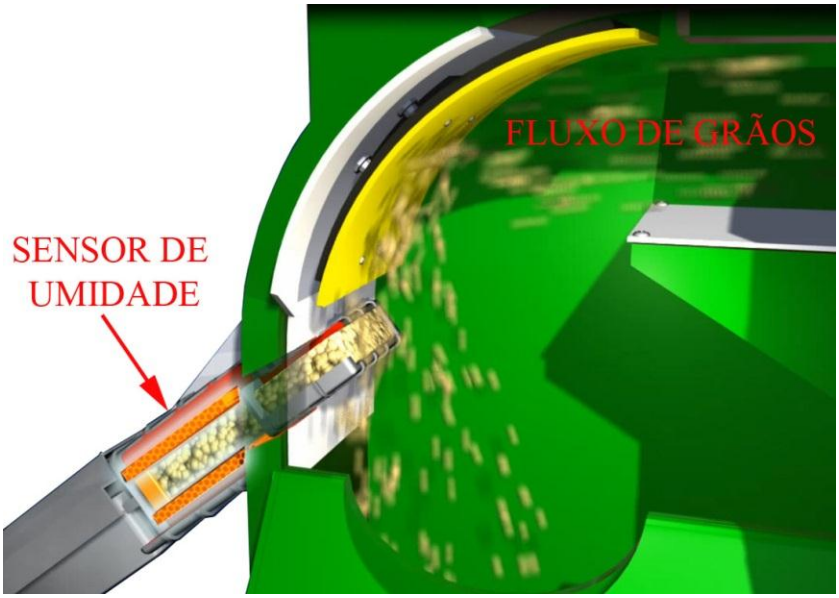

Figura 6 – Sensor de teor de umidade dos grãos em abastecimento
Fonte: John Deere.

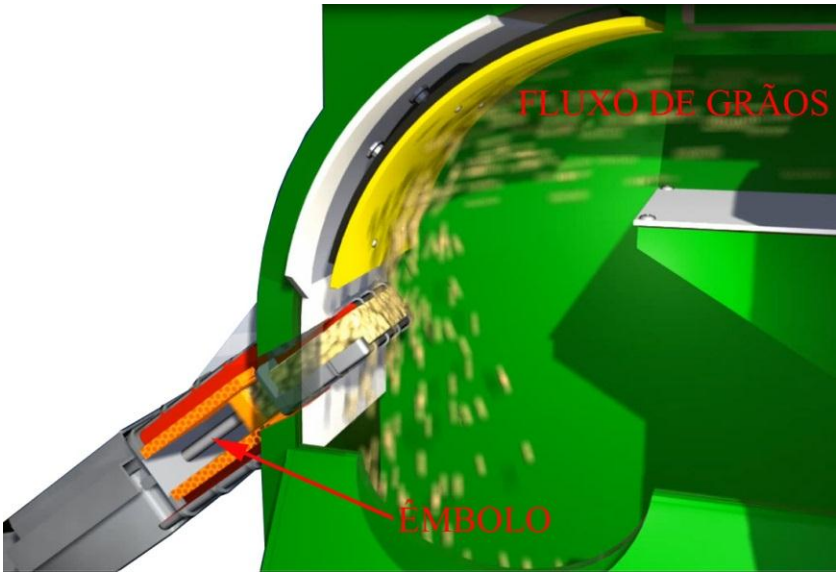

Figura 7 – Sensor de teor de umidade dos grãos removendo a massa de grãos
Fonte: John Deere.

Realizou-se a conferência do valor de umidade obtido pelo sensor de teor de umidade dos grãos da máquina e comparado com o valor de umidade obtido na cooperativa para fazer a correção.

O valor da correção da umidade foi obtido pela diferença dos valores de umidade do sensor de teor de umidade dos grãos da máquina e o valor de umidade

obtidos na cooperativa, este valor foi inserido no campo de correção de umidade no monitor da máquina que realizou a calibração do valor (Figura 8).

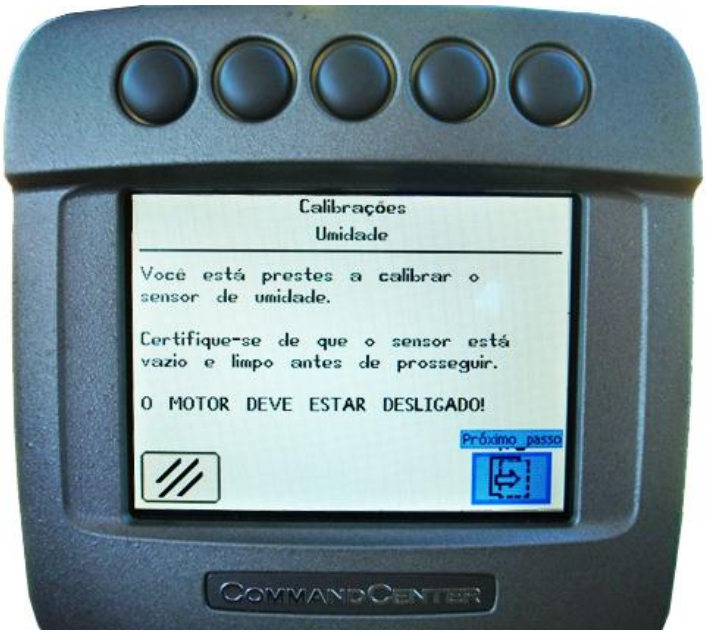

Figura 8 – Monitor de produtividade, calibração de umidade.
Fonte: John Deere.

- Receptor GNSS

Para o georeferenciamento dos pontos de colheita de rendimento e umidade foi utilizado o receptor de posição modelo Star Fire 3000, o qual recebe sinal de satélites GPS e o Sistema Orbital Global de Navegação por Satélite (GLONASS), além do sinal da John Deere utilizado neste teste de campo fornecido pelos satélites INMARSAT (Figura 9).

Figura 9 – Receptor StarFire® 3000

Fonte: John Deere.

- Monitor Greenstar® 2630

Para acompanhamento visual do rendimento da lavoura, configuração, geração dos arquivos necessários para gerar os mapas de produtividade e transferências de dados foi utilizado o monitor GS 2630 (Figura 10).

As transferências de dados foram realizadas por meio de uma porta USB localizadas na parte traseira do monitor.

Figura 10 – Monitor GS 2630

Fonte: John Deere.

3.4 Exportação dos dados de colheita

Utilizou-se o programa computacional Apex® para realizar a exportação dos dados de colheita para extensão de arquivo em formato s*hape*[1] para possibilitar trabalhar com os dados dos mapas de produtividade com o programa computacional CR Campeiro®.

Para definição das zonas de manejo e evolução da produtividade sobre a área de estudo, foram utilizados os dados de colheita dos anos de:

- 2010 com as culturas de soja e trigo;
- 2011 com as culturas de soja e trigo;
- 2012 com a cultura da soja.

O processo de exportação totalizando em cinco arquivos de dados de colheita no formato s*hape*.

---

[1] Formato de arquivos contendo dados geoespaciais em formato de vetor usado por sistemas de informações Geográficas.

3.5 Geração dos mapas de produtividade utilizando o CR Campeiro®

3.5.1 Cadastro das informações da propriedade rural

Antes de começar a trabalhar com os arquivos exportados do Apex® no formato *Shapefile*, foi realizado o cadastro das informações relacionadas à área de estudo no banco de dados do CR Campeiro®, como:

- Cadastro do produtor rural;
- Cadastro da propriedade;
- Cadastro do talhão.

3.5.2 Vetorização do limite de contorno do talhão

Utilizando o arquivo dos pontos de colheita que mostra o formato da área de estudo foi desenhado e vetorizado o limite de contorno. Os limites do talhão estão representados na Figura 11.

O limite de contorno é necessário para a geração da malha de pontos, que foi utilizado posteriormente, para criar os mapas de produtividade da lavoura.

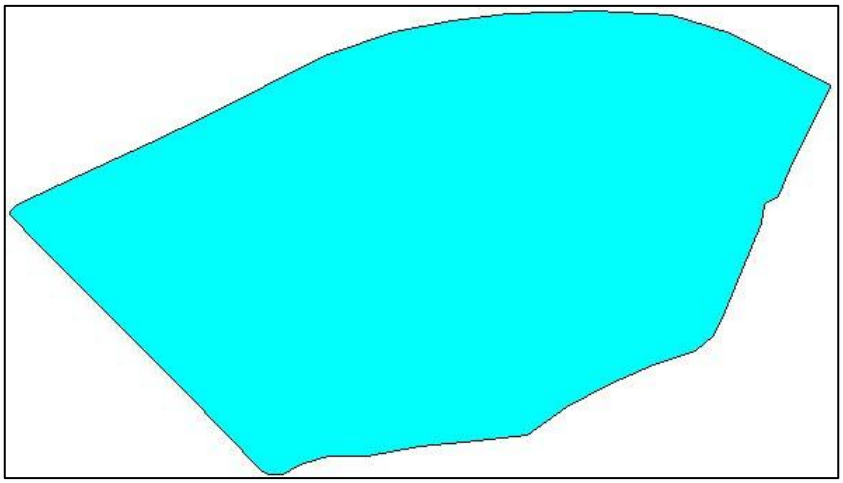

Figura 11 – limite de contorno do talhão

Fonte: CR Campeiro.

3.5.3 Conversão e edição do arquivo VPP (Vetor de Pontos de Produtividade)

A partir dos arquivos *shape* dos dados de colheita da área de estudo foi utilizado o programa CR Campeiro® para converter estes arquivos ao formato VPP, possibilitando trabalhar com os dados de colheita.

A Figura 12 representa o mapa de produtividade aberto no CR Campeiro® a partir do arquivo *shape*.

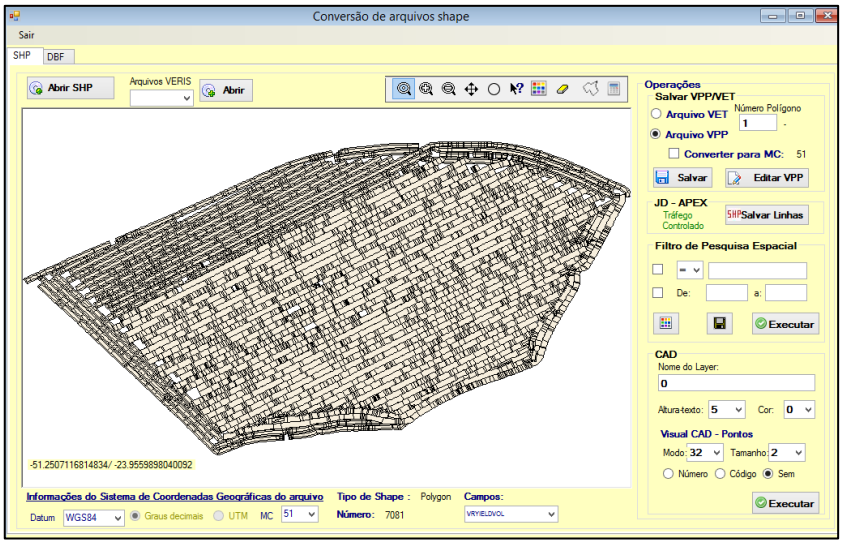

Figura 12 – Tela da conversão de arquivos *Shapefile* para VPP

Fonte: CR Campeiro.

No momento da exportação do arquivo *shape* é gerado um arquivo DBF (*Data Base File)* contendo todos os dados dos pontos de colheita que são utilizados para a geração dos mapas de produtividade como:

- Pontos amostrais de colheita;
- Coordenadas dos pontos de colheita.

Estes dados estão representados na Figura 13.

Os arquivos VPP gerados a partir de arquivos de mapas de colheita contêm os dados brutos, desta forma, foi necessário realizar uma análise de seus dados e, posteriormente, edição para eliminar pontos cujos valores apresentam discrepâncias.

SHP DBF

Pontos de colheita — Coordenadadas dos pontos

CLIENT_NAM	FARM_NAME	FIELD_NAME	VRYIELDVOL	TIME	LATITUDE	LONGITUDE
Otavio Uemura	Fazenda Otavio	Pinheiro Maior	45.25068148499...	29/3/2012 10:04...	-23,9579086515...	-51,2549726774...
Otavio Uemura	Fazenda Otavio	Pinheiro Maior	57.08845726231...	29/3/2012 10:04...	-23,9579058265...	-51,2549626954...
Otavio Uemura	Fazenda Otavio	Pinheiro Maior	47.70992750496...	29/3/2012 10:04...	-23,9578976965...	-51,2549335834...
Otavio Uemura	Fazenda Otavio	Pinheiro Maior	32.03437244008...	29/3/2012 10:04...	-23,9578909045...	-51,2549168324...
Otavio Uemura	Fazenda Otavio	Pinheiro Maior	36.50256434580...	29/3/2012 10:05...	-23,9578828185...	-51,2549000904...
Otavio Uemura	Fazenda Otavio	Pinheiro Maior	46.41289680974...	29/3/2012 10:05...	-23,9578780015...	-51,2548922354...
Otavio Uemura	Fazenda Otavio	Pinheiro Maior	42.62665696391...	29/3/2012 10:05...	-23,9578737345...	-51,2548839024...
Otavio Uemura	Fazenda Otavio	Pinheiro Maior	56.42334540460...	29/3/2012 10:05...	-23,9578702205...	-51,2548757424...
Otavio Uemura	Fazenda Otavio	Pinheiro Maior	48.85198267672...	29/3/2012 10:05...	-23,9578428365...	-51,2548131404...
Otavio Uemura	Fazenda Otavio	Pinheiro Maior	53.29307201097...	29/3/2012 10:05...	-23,9578395305...	-51,2548031764...
Otavio Uemura	Fazenda Otavio	Pinheiro Maior	49.68842999330...	29/3/2012 10:05...	-23,9578362155...	-51,2547931394...
Otavio Uemura	Fazenda Otavio	Pinheiro Maior	43.51745737257...	29/3/2012 10:05...	-23,9578315885...	-51,2547839144...
Otavio Uemura	Fazenda Otavio	Pinheiro Maior	58.30598058255...	29/3/2012 10:05...	-23,9578277725...	-51,2547741834...
Otavio Uemura	Fazenda Otavio	Pinheiro Maior	47.96016796202...	29/3/2012 10:05...	-23,9578212575...	-51,2547543514...
Otavio Uemura	Fazenda Otavio	Pinheiro Maior	43.34447350321...	29/3/2012 10:05...	-23,9578144655...	-51,2547345894...
Otavio Uemura	Fazenda Otavio	Pinheiro Maior	55.04610819781...	29/3/2012 10:05...	-23,9578111725...	-51,2547250304...
Otavio Uemura	Fazenda Otavio	Pinheiro Maior	50.922242194608	29/3/2012 10:05...	-23,9577857915...	-51,2546608434...
Otavio Uemura	Fazenda Otavio	Pinheiro Maior	56.45308169302...	29/3/2012 10:05...	-23,9577802735...	-51,2546499314...
Otavio Uemura	Fazenda Otavio	Pinheiro Maior	50.66848785900...	29/3/2012 10:05...	-23,9577539835...	-51,2545910424...
Otavio Uemura	Fazenda Otavio	Pinheiro Maior	58.55679208456...	29/3/2012 10:05...	-23,9577352475...	-51,2545512084...
Otavio Uemura	Fazenda Otavio	Pinheiro Maior	52.43189601032...	29/3/2012 10:05...	-23,9577070565...	-51,2544840404...
Otavio Uemura	Fazenda Otavio	Pinheiro Maior	62.94732144919...	29/3/2012 10:05...	-23,9577013815...	-51,2544706684...
Otavio Uemura	Fazenda Otavio	Pinheiro Maior	49.61102453199...	29/3/2012 10:05...	-23,9576637245...	-51,2543757134...

Figura 13 – Tela com a tabela de dados DBF

Fonte: CR Campeiro.

3.5.4 Malha de amostragem dos mapas de produtividade

A malha de amostragem é necessária para inserir valores de colheita obtidos por meio dos arquivos de produtividade.

Adotou-se uma malha de 0,04ha (400m²) o que representa uma rede de 20m X 20m, contendo 470 pontos sobre o limite de contorno do talhão conforme Figura 14. Estes pontos são considerados amostrais e receberam por critério de média, os valores dos pontos de colheita mais próximos para a realização dos cálculos.

Sobre o limite de contorno do talhão, foram dispostos 6.459 pontos obtidos pelos dados de colheita, as distribuições destes pontos estão representadas na Figura 15.

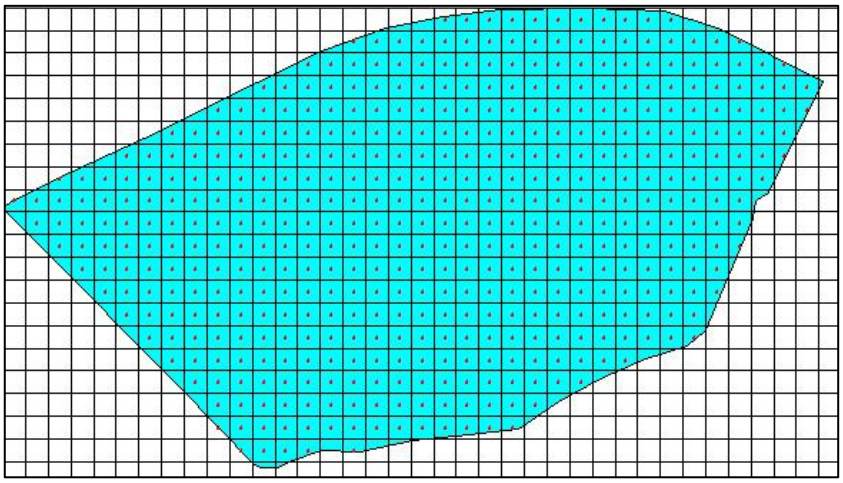

Figura 14 – Dimensionamento da malha.

Fonte: CR Campeiro.

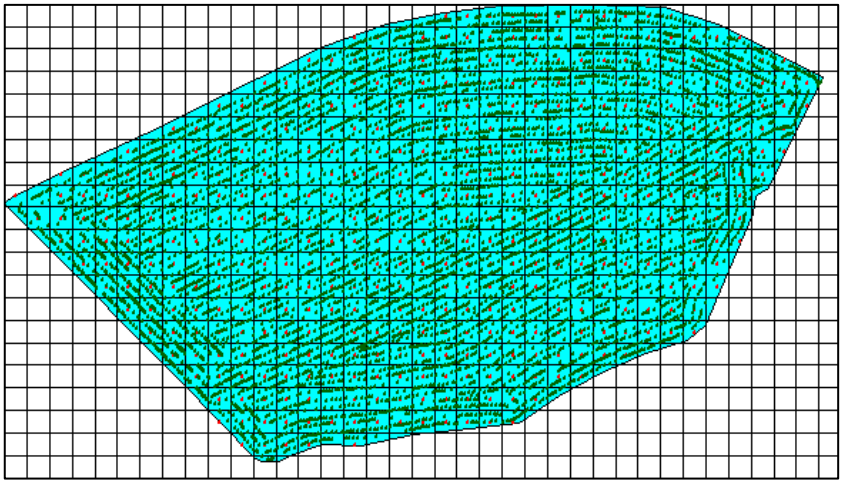

Figura 15 – Malha de amostragem de colheita.

Fonte: CR Campeiro.

3.5.5 Projeto de Agricultura de Precisão (PAP)

O PAP foi útil no projeto para geração do conjunto de dados georeferenciados do atributo produtividade que, segundo Giotto et al. (2013), tem função de determinar a variabilidade espacial desse e outros atributos sobre áreas produtivas.

A estruturação de um PAP foi o primeiro passo de operação com as funções de AP, pois a partir dele foram gerados os mapas de produtividade.

Os PAP foram armazenados no banco de dados e podem ser recuperados para edição.

A Figura 16 apresenta a estrutura de dados do PAP, sendo que cada registro consiste nos dados de um ponto amostral associados às coordenadas UTM.

Na amostragem de produtividade para elaboração de mapas de produtividade, são coletadas amostras com finalidade de análise e interpretação da variável. A variável deve ser estruturada em um PAP para os procedimentos posteriores de geração de mapas.

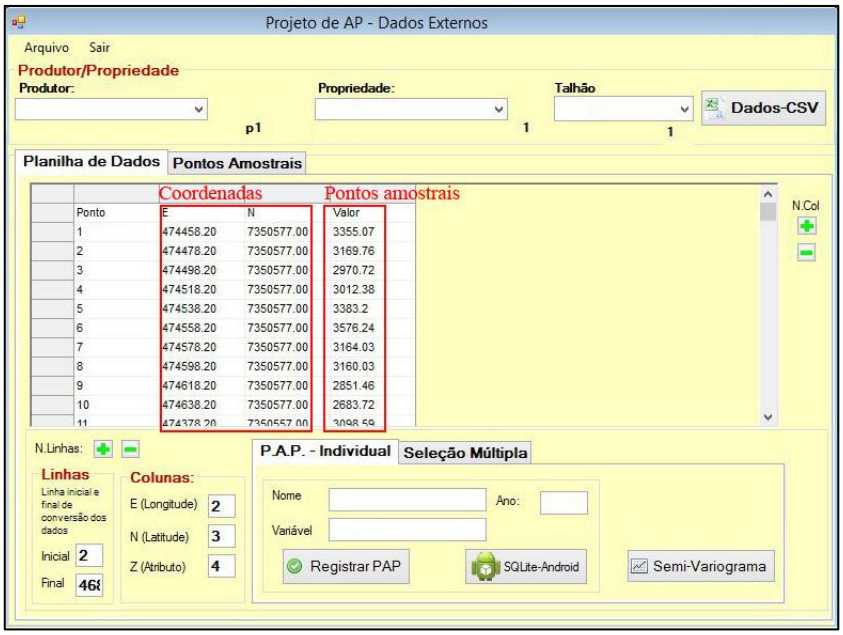

Figura 16 – Dados georeferenciados de projeto de AP.

Fonte: CR Campeiro.

3.5.6 Estruturação do PAP

A indexação dos dados no PAP foi realizada por meio da recuperação do arquivo de coordenadas dos pontos amostrais com a inserção dos valores do atributo.

O procedimento iniciou-se com a recuperação dos dados de identificação do produtor e da propriedade e com a seleção do talhão, no qual pertença os dados da

variável do PAP, que foi previamente cadastrado na base espacial da propriedade (Figura 17).

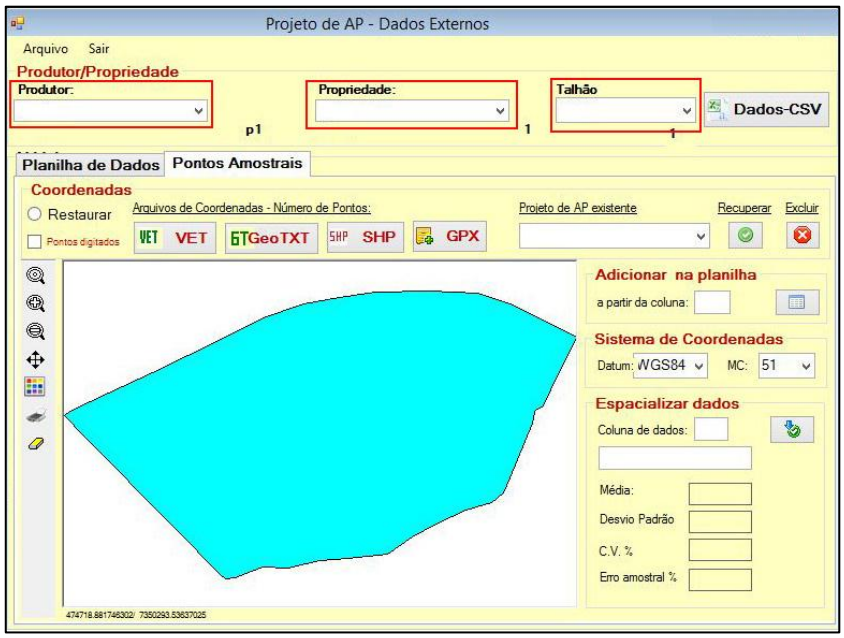

Figura 17 – Seleção do talhão.

Fonte: CR Campeiro.

A Figura 18 representa o desenho dos pontos juntamente com a identificação do número da coluna de associação.

Foram inseridos na planilha de dados as coordenadas UTM dos pontos que constituem o conjunto amostral e a cada ponto foi associado o valor da variável do PAP.

Definiu-se o número de linhas da planilha e informado em quais linhas têm início e fim o conjunto de dados. Também foi informado em quais colunas estão relacionados os valores de coordenadas (E, N) e do atributo (Z), conforme Figura 19.

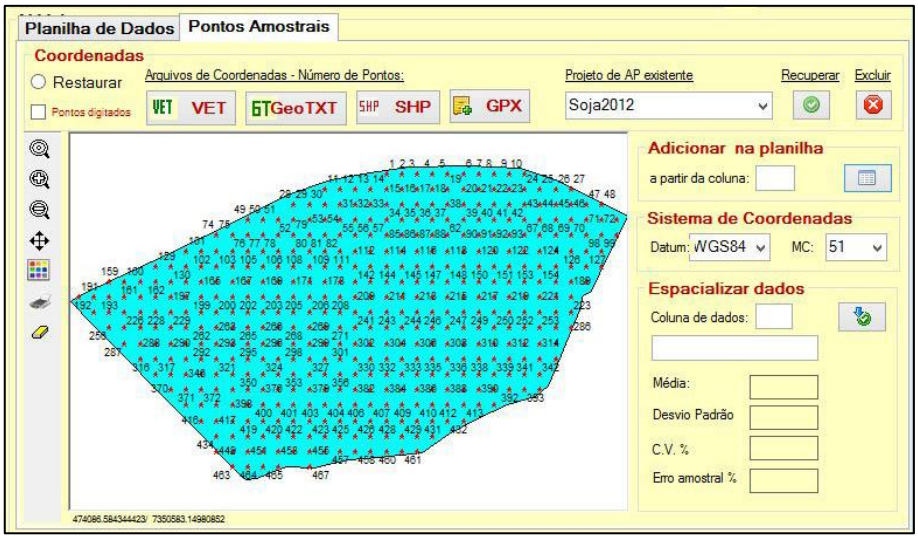

Figura 18 – Pontos amostrais

Fonte: CR Campeiro.

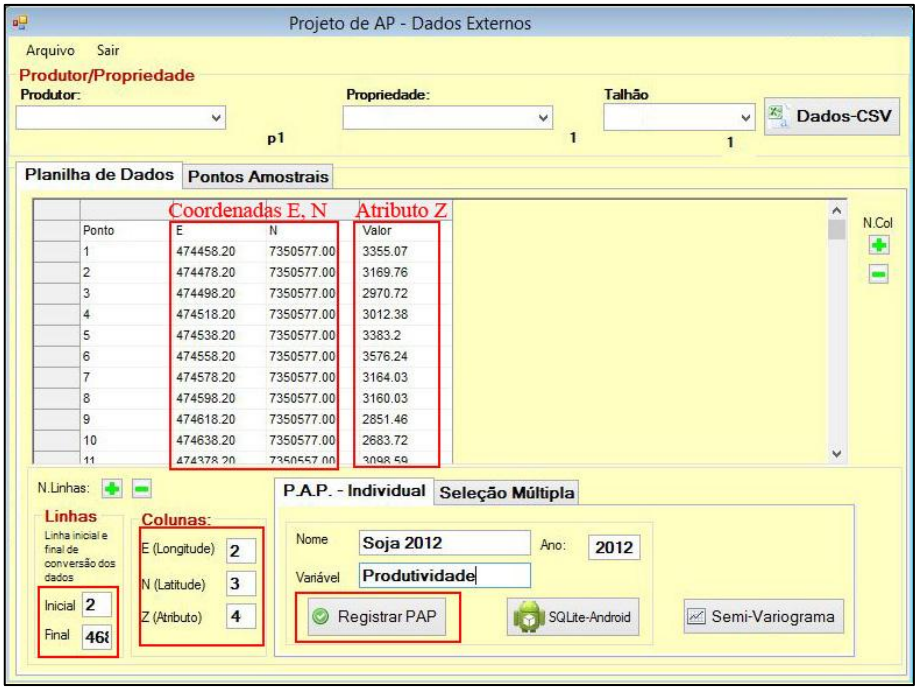

Figura 19 – Relação dos pontos amostrais (E, N, Z)

Fonte: CR Campeiro.

O processo final da estruturação do projeto é o seu registro no banco de dados, associado às informações cadastrais do produtor, propriedade e do talhão que serão utilizados posteriormente para geração dos modelos digitais (Figura 19).

3.5.7 Análise geoestatística

O semivariograma foi utilizado para representar a continuidade espacial das variáveis em uma determinada direção de um vetor. Assim, o estudo da continuidade ou dependência espacial da variável em estudo foi realizado por meio da ferramenta semivariograma.

3.5.8 Geração do Modelo Digital do Terreno (MDT)

O MDT no sistema de agricultura de precisão do CR Campeiro® é a representação matemática contínua da distribuição espacial das variações do valor de um determinado atributo numa área definida.

O MDT é gerado, a partir de um conjunto de pontos georeferenciados de posição planimétrica conhecida, através de suas coordenadas UTM, E (Longitude) e N (Latitude). Portanto, consiste em uma grade de formato quadrado ou retangular, sendo que a intersecção de linhas e colunas desta grade recebe a denominação de (nó), sendo o valor da variável (Z), neste caso, o dado de produtividade da área de estudo que está associada a este ponto (nó) calculado a partir de processos interpolativos de métodos geoestatísticos (Figura 20).

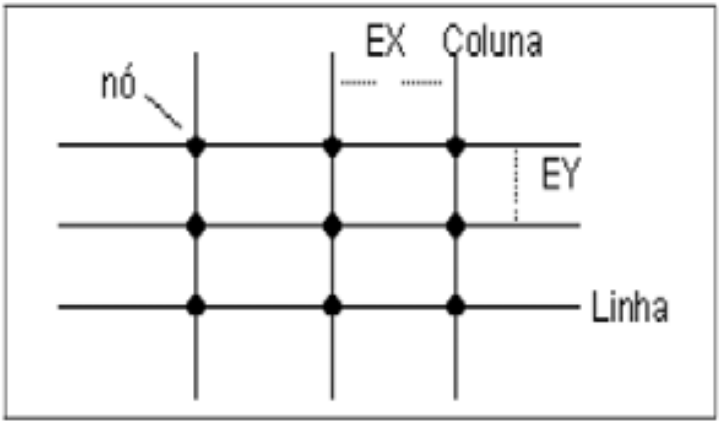

Figura 20 – Estrutura conceitual de um modelo digital

Fonte: Manual do CR Campeiro®, 2013.

A estruturação do MDT é condição inicial para a execução da tarefa de geração dos mapas de produtividade. A geração do modelo digital foi realizada a partir de dados de produtividade de colheita georeferenciadas armazenados nos projetos de agricultura de precisão.

3.5.9 Etapas da geração do MDT

A rotina de estruturação do MDT foi elaborar a partir de uma área definida e com espacialização de um atributo comum de pontos georeferenciados armazenados no PAP.

- Seleção do Talhão

Foi selecionado o talhão para definir a área de trabalho onde estão indexados os PAP que são base para estruturar os modelos de AP.

A Figura 21 ilustra a seleção do talhão.

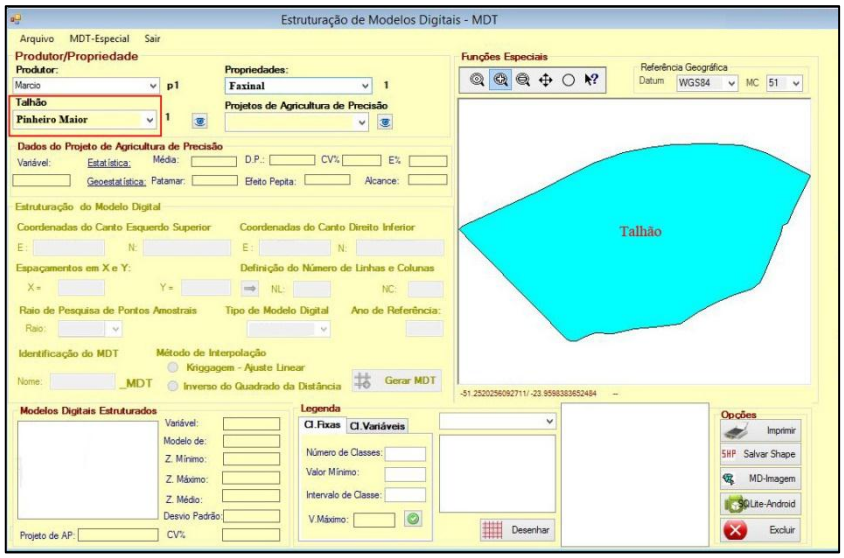

Figura 21 – Função de Estruturação do MDT

Fonte: CR Campeiro.

- Recuperação do PAP

Após definido o talhão, o próximo passo é abrir a relação de Projetos de AP para escolher o projeto MDT a ser estruturado. Com a seleção do PAP os seguintes elementos são calculados e apresentados:

a) Análise Estatística Descritiva do PAP.
- Média.
- Desvio Padrão.
- Coeficiente de Variação.
- Erro de Amostragem a 95%.

b) Análise Geoestatística.
- Efeito Pepita.
- Patamar.
- Alcance da dependência espacial.

c) Pontos amostrais com os valores do atributo.

A Figura 22 mostra os resultados estatísticos e do desenho dos pontos amostrais sobre a área do talhão.

- Parâmetros do MDT

Esta etapa do processo de construção do MDT consistiu em definir os parâmetros da grade. As seguintes informações são necessárias:

- Espaçamento X – Espaçamento entre colunas, em metros;
- Espaçamento Y – Espaçamento entre linhas, em metros;
- N. Linhas – Definição do número de linhas da grade;
- N. Colunas – Definição do número de colunas da grade.

Com a informação dos espaçamentos X e Y são calculados os números de linhas e de colunas e realiza um ajuste nas coordenadas.

- Raio de Pesquisa – limite da procura dos pontos amostrais, para

calcular, por interpolação, os valores dos nós da grade.

- Tipo de Modelo Digital – Fertilidade / Altimétrico / Produtividade / Físico / Defesa.
- Ano – Ano de referência para o modelo.
- Nome – nome de identificação para o modelo, sendo que ao nome informado será acrescido "_MDT".

Na Figura 23 apresentam-se os campos acima mencionados preenchidos.

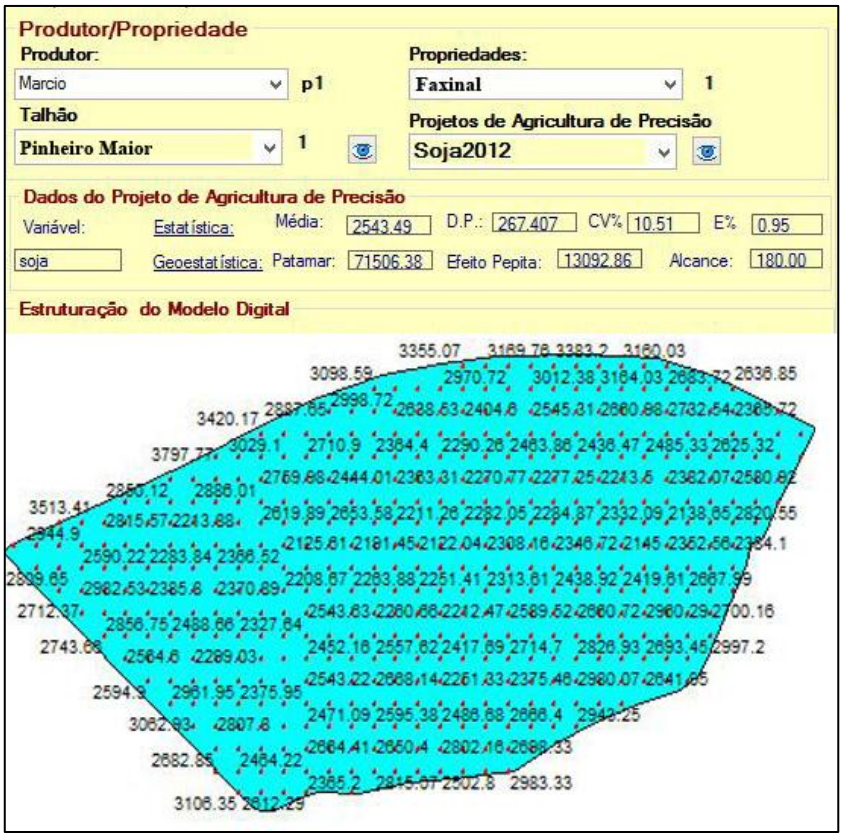

Figura 22 – Recuperação do PAP

Fonte: CR Campeiro.

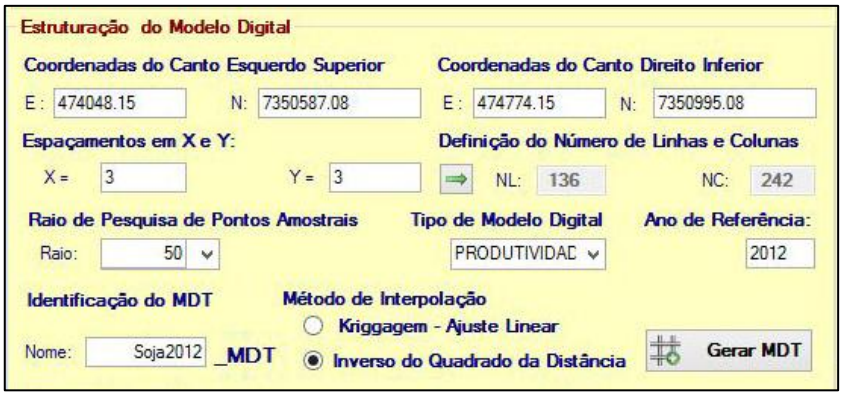

Figura 23 – Geração do MDT

Fonte: CR Campeiro.

- Interpolação

Após a definição dos parâmetros da grade do MDT foi selecionado o procedimento estatístico de interpolação. São disponíveis os seguintes processos de interpolação:

a) Inverso do Quadrado da Distância.

b) Krigagem – Ajuste linear.

Para este trabalho foi escolhido o procedimento estatístico de interpolação inverso do quadrado da distância.

- Análise de precisão do MDT

Após o processo de interpolação com a estimativa do atributo, foi realizada pelo sistema, uma análise de desvios dos valores estimados em relação aos valores reais dos pontos amostrais e apresentado a precisão, com a qual o modelo foi estruturado.

Constam nesta análise de precisão os seguintes elementos:

- Média dos desvios, tomados de forma absoluta;
- Média aritmética dos desvios observados;
- Índice Residual Normalizado;

- Desvio padrão;
- Maior desvio observado no processo de ajuste.

3.6 Definições de zonas de manejo

Para definição das zonas de manejo foi utilizada a metodologia definida por (MOLIN, 2002).

Zonas de manejo	Faixa compreendida
Zona de baixa produtividade	<95% em relação à média
Zona de média produtividade	95%≤Média produtividade≤105%
Zona de alta produtividade	>105% em relação à média

Quadro 1 – Determinação de zonas de manejo

Fonte: Adaptado de Molin (2002).

3.7 Interpolação dos mapas de produtividade

Utilizando os cincos MDT dos mapas de produtividade e, com auxílio do CR Campeiro®, foi realizada a análise entre as células dos mapas para determinar o comportamento da produtividade em cada célula para geração do mapa com as áreas de zonas de manejo.

Abaixo as etapas que foram realizadas para a geração do mapa final com as zonas de manejo.

A Figura 24 apresenta a tela inicial onde as informações necessárias para a geração do mapa são inseridas, como:

- Talhão.
- Dimensionamento da malha.

As células foram dimensionadas com área de 0,04 ha (20 m X 20 m) para a geração da malha.

- Opção de análise.

O método de análise das células utilizado foi a Média de Modelos (µ) média = (A1+A2.....An) / n.

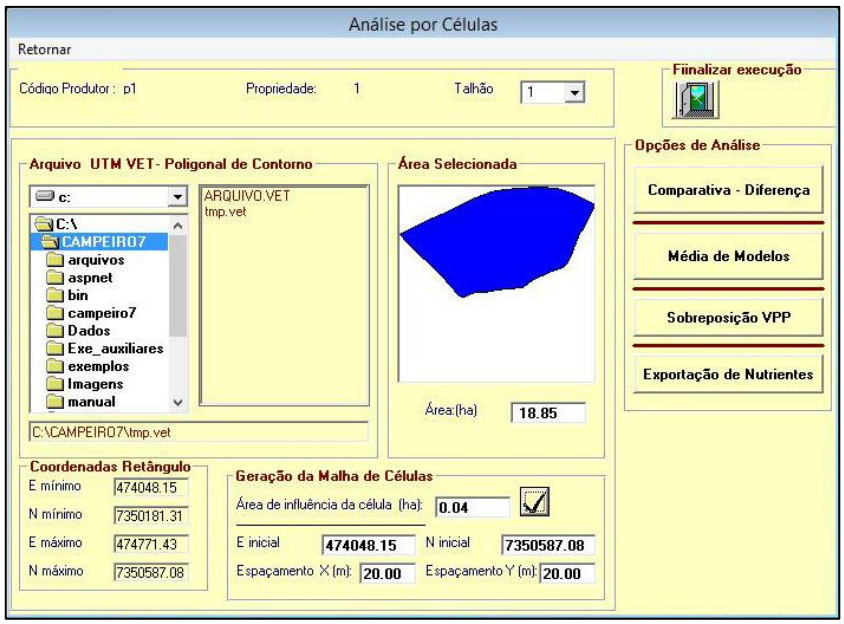

Figura 24 – Tela de análise por células

Fonte: CR Campeiro.

A Figura 25 é a tela onde foram inseridas as informações referentes aos Modelos Digitais dos mapas de produtividade (MDT) para a geração do cálculo de Média de Modelos.

As informações necessárias para a geração do cálculo de Média de Modelos são:

- Número de modelos.

O Número de modelos é referente aos cinco Modelos Digitais dos mapas de produtividade (MDT), os quais divulgam as informações de produtividade para cada ano de produção.

As informações inseridas nas colunas:

A1) Soja2010_MDT.

A2) Trigo2010_MDT.

A3) Soja2011_MDT.

A4) Trigo2011_MDT.

A5) Soja2012_MDT.

- Processo de cálculo

Para este cálculo foi escolhido à opção de cálculo baseado na % em relação à média.

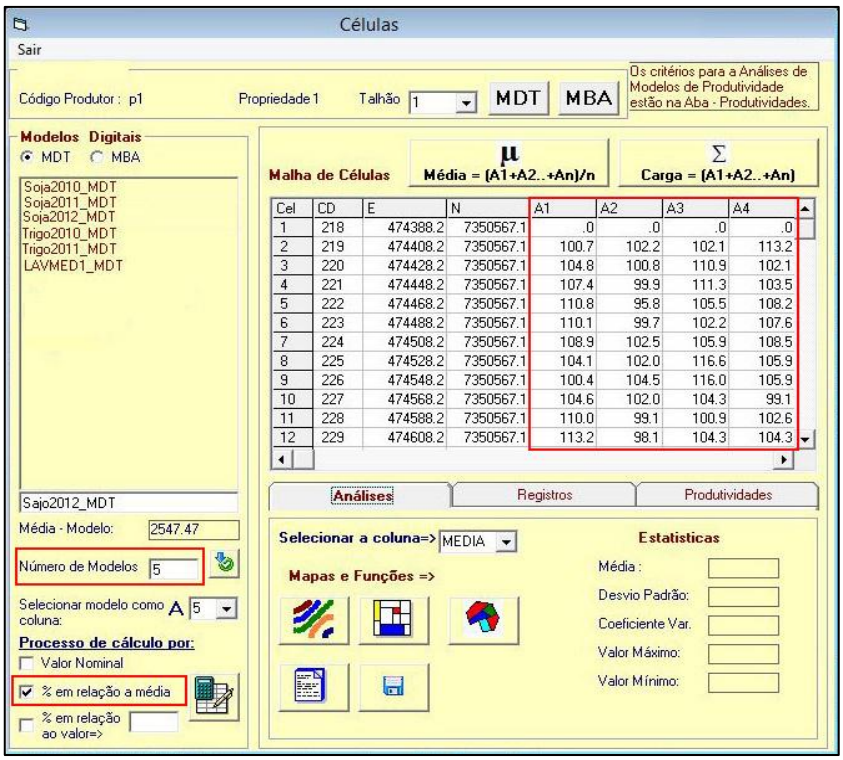

Figura 25 – Células.

Fonte: CR Campeiro.

Como os campos completados foi gerada a média dos modelos (μ) média = (A1+A2.....An) / n a Figura 26 é a tabela com os dados já calculados das médias dos modelos para cada célula.

Malha de Células | μ Média = (A1+A2..+An)/n | Σ Carga = (A1+A2..+An)

Cel	CD	E	N	A1	A2	A3	A4	A5	Média	CV	CL
2	219	474408.2	7350567.1	100.7	102.2	102.1	113.2	117.7	107.2	7.2	3
3	220	474428.2	7350567.1	104.8	100.8	110.9	102.1	116.3	107	6.1	3
4	221	474448.2	7350567.1	107.4	99.9	111.3	103.5	112.4	106.9	4.9	3
5	222	474468.2	7350567.1	110.8	95.8	105.5	108.2	112.0	106.5	6.1	3
6	223	474488.2	7350567.1	110.1	99.7	102.2	107.6	109.3	105.8	4.3	3
7	224	474508.2	7350567.1	108.9	102.5	105.9	108.5	108.2	106.8	2.5	3
8	225	474528.2	7350567.1	104.1	102.0	116.6	105.9	118.1	109.3	6.8	3
9	226	474548.2	7350567.1	100.4	104.5	116.0	105.9	125.7	110.5	9.3	3
10	227	474568.2	7350567.1	104.6	102.0	104.3	99.1	121.7	106.3	8.3	3
11	228	474588.2	7350567.1	110.0	99.1	100.9	102.6	118.3	106.2	7.5	3
12	229	474608.2	7350567.1	113.2	98.1	104.3	104.3	113.2	106.6	6.1	3
13	230	474628.2	7350567.1	111.3	98.7	105.6	92.8	106.6	103	7.1	2

Figura 26 – Média dos modelos

Fonte: CR Campeiro.

- Registro do modelo digital do mapa de zonas de manejo

Após todas as informações necessárias inseridas no sistema para geração do cálculo das médias dos modelos, para possibilitar a geração do mapa de manejo da área de estudo, foi realizado o registro do arquivo no banco de dados do CR Campeiro para a visualização do modelo digital do mapa final.

O arquivo do mapa de zonas de manejo recebeu o nome de (LAVMED1_MDT) e foi salvo juntamente com os outros cinco modelos digitais dos mapas de produtividade que foram utilizados para sua geração.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise geoestatística

A Figura 27 representa o gráfico do semivariograma com o comportamento da distribuição dos pontos amostrais.

O resultado do cálculo do semivariograma indica uma dependência espacial moderada na distribuição dos pontos amostrais, existindo assim uma relação entre cada ponto.

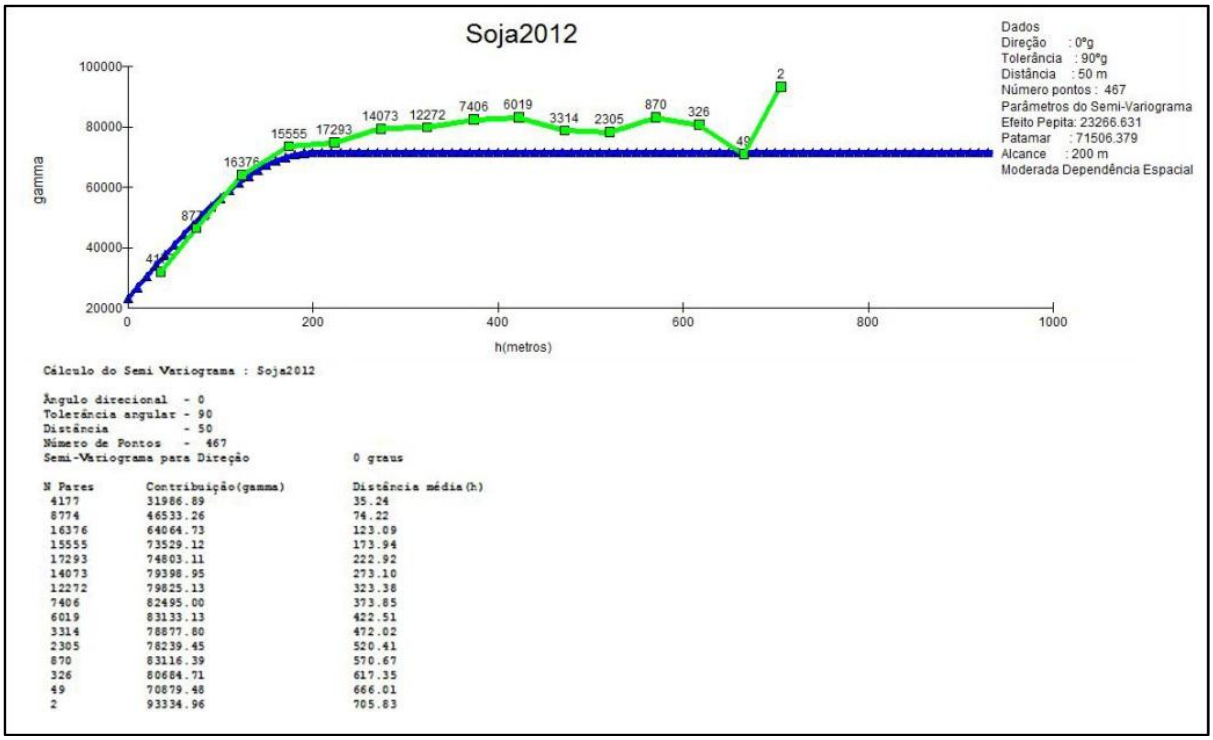

Figura 27– Gráfico do semivariograma

Fonte: CR Campeiro.

4.2 Análise de precisão do MDT

Após o processo de interpolação com a estimativa do atributo, foi realizada pelo sistema uma análise de desvios dos valores estimados em relação aos valores reais dos pontos amostrais e apresentado à precisão, com a qual o modelo foi estruturado (Figura 28).

Constam nesta análise de precisão os seguintes elementos:

- Média dos desvios, tomados de forma absoluta;
- Média aritmética dos desvios observados;
- Índice Residual Normalizado;
- Desvio padrão;
- Maior desvio observado no processo de ajuste.

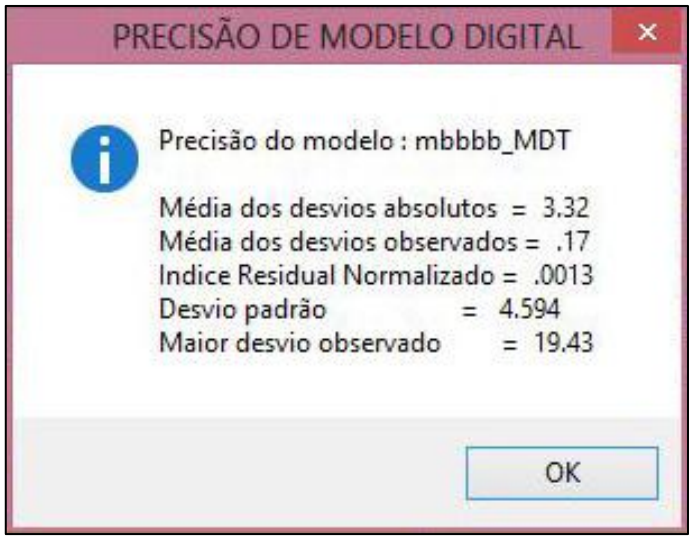

Figura 28 – Precisão do MDT

Fonte: CR Campeiro.

O desvio padrão médio foi de ±4,6 kg em relação à média. O índice residual normalizado foi baixo, ficando em 0,0013 concluindo pela boa qualidade e estabilidade dos dados coletados. O maior desvio observado foi de 19,43 kg em relação à média.

Além desta apresentação da precisão do ajuste, foi gerado um relatório com os dados amostrais, os dados estimados pelo modelo, a magnitude dos desvios em cada ponto amostral. A Figura 29 representa a tela desse relatório.

CR CAMPEIRO 7
AGRICULTURA DE PRECISÃO

Estruturação de Modelos Digitais do Terreno

Interpolador - Inverso do quadrado da distância
Nome do modelo -Soja2012_MDT
Projeto de Agricultura de Precisão - Soja2012
Variável - soja
Tipo de modelo- PRODUTIVIDADE
Dados do Modelo
E inicial - 474048.15
E final - 474774.15
N inicial - 7350587.08
N final - 7350995.08
Espaçamento entre colunas - 3
Espaçamento entre linhas - 3
Número de linhas - 136
Número de colunas - 242
Raio de pesquisa - 50 metros

Ponto	Dado	Calculado	Diferença	Coord. E m	Coord. N m
1	3355.07	3343.94	-11.13	474458.20	7350577.00
2	3169.76	3162.88	-6.88	474478.20	7350577.00
3	2970.72	2968.81	-1.91	474498.20	7350577.00
4	3012.38	3009.75	-2.63	474518.20	7350577.00
5	3383.2	3374.54	-8.66	474538.20	7350577.00
6	3576.24	3569.63	-6.61	474558.20	7350577.00
7	3164.03	3164.48	.45	474578.20	7350577.00
8	3160.03	3154.74	-5.29	474598.20	7350577.00
9	2851.46	2852.37	.91	474618.20	7350577.00

Figura 29 – Relatório da análise de precisão do modelo
Fonte: CR Campeiro.

4.3 Visualização do Modelo Digital dos mapas de produtividade

A Figura 30 representa a tela onde todos os Modelos Digitais (MDT) estruturados das culturas utilizadas para a realização deste trabalho estão listados e prontos para a geração dos mapas de produtividade.

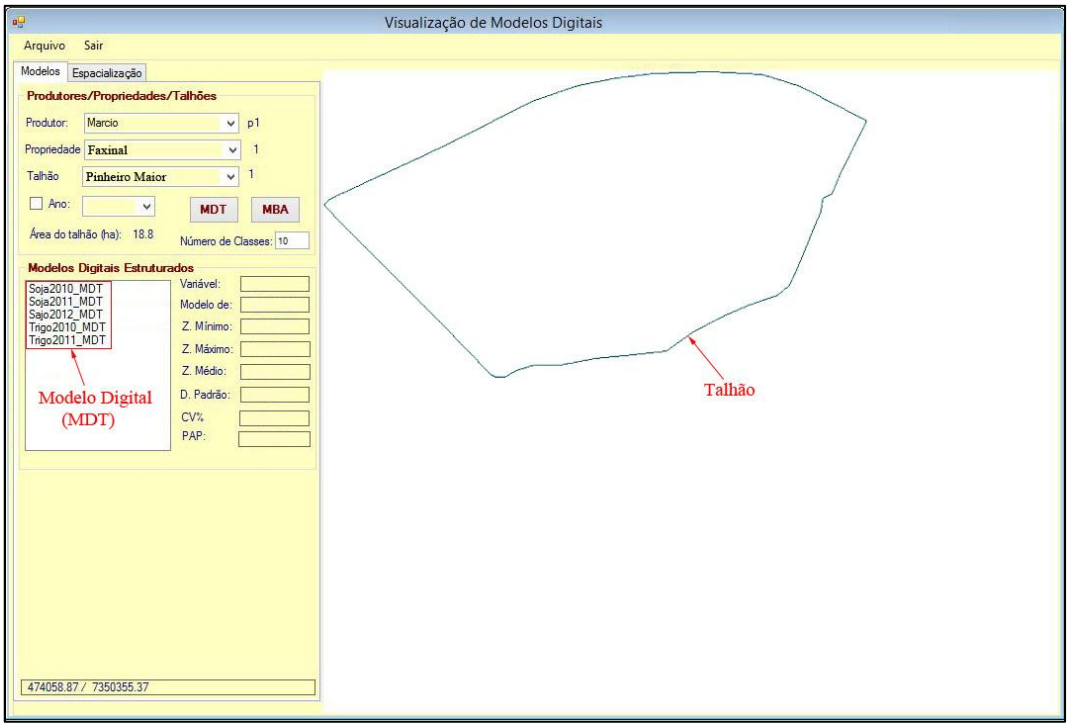

Figura 30 – Tela de visualização dos modelos digitais dos mapas de produtividade

Fonte: CR Campeiro.

Após todos os Modelos Digitais (MDT) ter sidos gerados, pode ser visualizado o mapa em duas formas distintas:

a) Classes Fixas.

b) Classes Variáveis.

Para este trabalho foi obstado visualização pelas “Classes Variável”, em seguida foi definido o padrão de cores “Arco Iris” com três classes de cores.

A Figura 31 mostra o processo de visualização em classes variáveis, a partir da informação dos dados e o resultado que consiste no mapa com a definição das classes no padrão de cores selecionada.

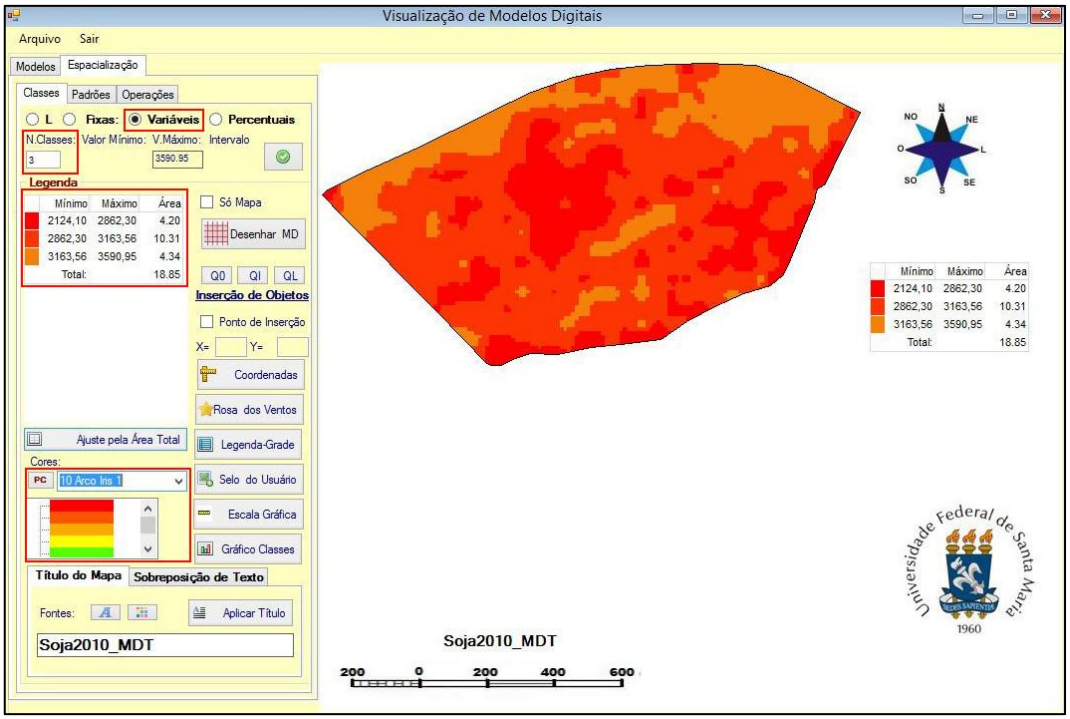

Figura 31 – Visualização de MDT em Classes variáveis

Fonte: CR Campeiro.

4.3.1 Mapas de produtividades

A Figura 32 é a representação gráfica do mapa de produtividade da cultura de soja do ano de 2010, a média de produção da área neste ano foi de 3.012,93 Kg/ha.

Conforme a legenda da Figura 32, a área foi dividida em três classes de cores para demonstrar as zonas de produtividade com suas respectivas áreas sobre o talhão.

As zonas de produtividade da área ficaram distribuídas da seguinte forma para a produção de soja do ano de 2010.

- 10,31 ha da área representa a zona de produção que permaneceu dentro da média da produção. A classe de cor que representa a produção média está entre 2.862,30 Kg/ha – 3.163,56 Kg/ha.
- 4,20 ha representa a zona de baixa produção da área. A classe de cor que representa a baixa produção está entre 2.124,10 Kg/ha – 2.862,30 Kg/ha.

4,34 ha representa a zona de alta produção da área. A classe de cor que representa a alta produção está entre 3.163,56 Kg/ha – 3.590,95 Kg/ha.

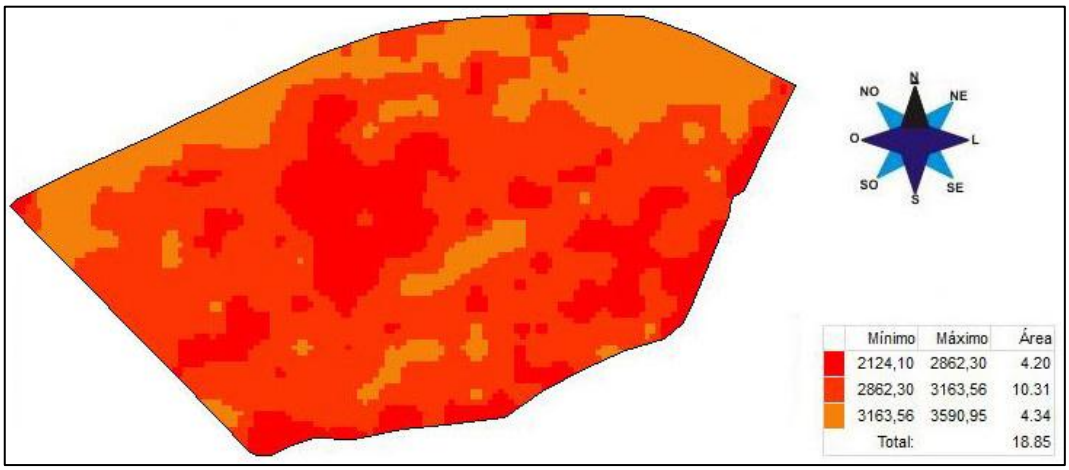

Figura 32 – Mapa de produtividade – Soja 2010

Fonte: CR Campeiro.

A Figura 33 é a representação gráfica do mapa de produtividade da cultura de trigo do ano de 2010, a média de produção da área neste ano foi de 4.423,18 Kg/ha.

Conforme a legenda da Figura 33 a área foi dividida em três classes de cores para demonstrar as zonas de produtividade com suas respectivas áreas sobre o talhão.

As zonas de produtividade da área ficaram distribuídas da seguinte forma para a produção de trigo do ano de 2010.

- 12,94 ha da área representa a zona de produção que permaneceu dentro da média da produção. A classe de cor que representa a produção média está entre 4.205,2 Kg/ha – 4.644,34 Kg/ha.
- 2,95 ha representa a zona de baixa produção da área. A classe de cor que representa a baixa produção está entre 3.124,85 Kg/ha – 4.202,02 Kg/ha.
- 2,95 ha representa a zona de alta produção da área. A classe de cor que representa a alta produção está entre 4.644,34 Kg/ha – 5.645,45 Kg/ha.

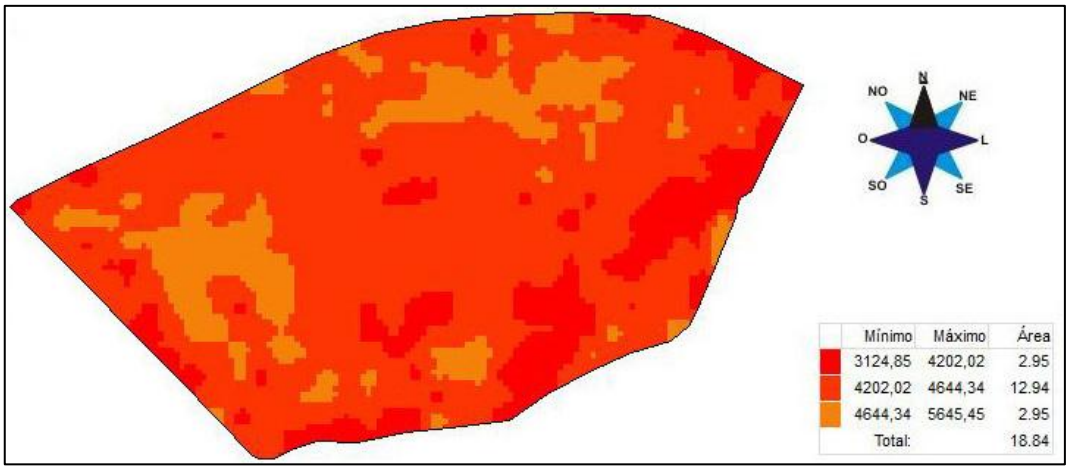

Figura 33 – Mapa de produtividade – Trigo 2010.

Fonte: CR Campeiro.

A Figura 34 é a representação gráfica do mapa de produtividade da cultura de soja do ano de 2011, a média de produção da área neste ano foi de 3.140,77 Kg/ha.

Conforme a legenda da Figura 34, a área foi dividida em três classes de cores para demonstrar as zonas de produtividade com suas respectivas áreas sobre o talhão.

As zonas de produtividade da área ficaram distribuídas da seguinte forma para a produção de soja do ano de 2011.

- 14,42 ha da área representa a zona de produção que permaneceu dentro da média da produção. A classe de cor que representa a produção média está entre 2.983,73 Kg/ha – 3.297,80 Kg/ha.
- 1,66 ha representa a zona de baixa produção da área. A classe de cor que representa a baixa produção está entre 2.147,84 Kg/ha – 2.983,73 Kg/ha.
- 2,77 ha representa a zona de alta produção da área, A classe de cor que representa a alta produção está entre 3.297,80 Kg/ha – 4.215,60 Kg/ha.

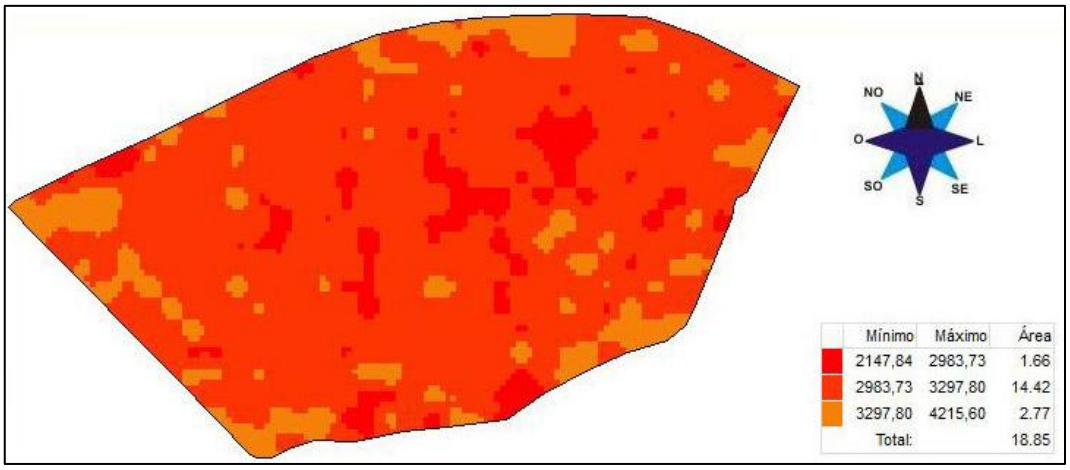

Figura 34 – Mapa de produtividade – Soja 2011.

Fonte: CR Campeiro.

A Figura 35 é a representação gráfica do mapa de produtividade da cultura de trigo do ano de 2011, a média de produção da área neste ano foi de 3.153,14 Kg/ha.

Conforme a legenda da Figura 35, a área foi dividida em três classes de cores para mostrar as zonas de produtividade com suas respectivas áreas sobre o talhão.

As zonas de produtividade da área ficaram distribuídas da seguinte forma para a produção de trigo do ano de 2011.

- 7,10 ha da área representa a zona de produção que permaneceu dentro da média da produção. A classe de cor que representa a produção média está entre 2.995,5 Kg/ha – 3.310,80 Kg/ha.
- 5,62 ha representa a zona de baixa produção da área. A classe de cor que representa a baixa produção está entre 1.252,16 Kg/ha – 2.995,5 Kg/ha.
- 6,13 ha representa a zona de alta produção da área, A classe de cor que representa a alta produção está entre 3.310,80 Kg/ha – 4.180,77 Kg/ha.

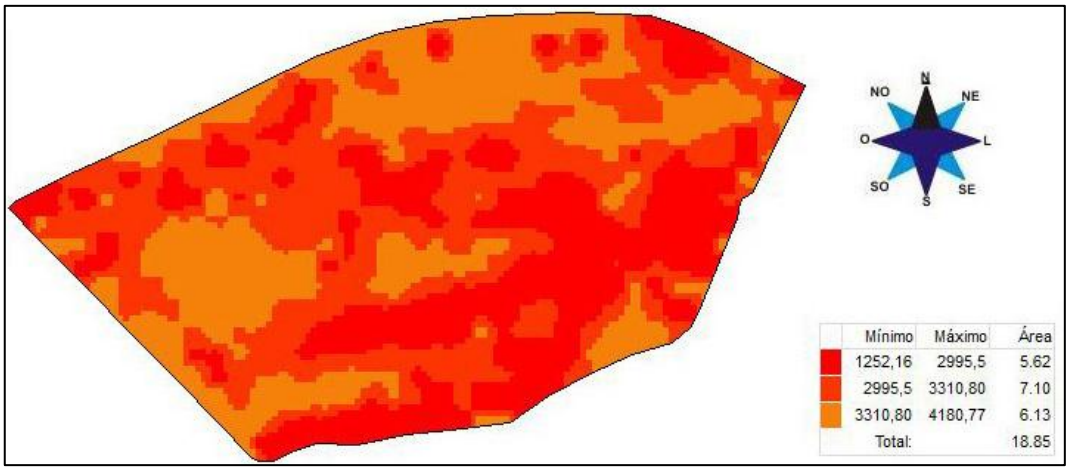

Figura 35 – Mapa de produtividade – Trigo 2011.

Fonte: CR Campeiro.

A Figura 36 é a representação gráfica do mapa de produtividade da cultura de soja do ano de 2012, a média de produção da área neste ano foi de 2.547,47 Kg/ha em comparação com os outros anos de 2010 e 2011 foi o ano de menor produção de soja.

Conforme a legenda da Figura 36 a área foi dividida em três classes de cores para demonstrar as zonas de produtividade com suas respectivas áreas sobre o talhão.

As zonas de produtividade da área ficaram distribuídas da seguinte forma para a produção de soja do ano de 2012.

- 7,13 ha da área representa a zona de produção que permaneceu dentro da média da produção. A classe de cor que representa a produção média está entre 2.420,10 Kg/ha – 2.674,84 Kg/ha.
- 6,38 ha representa a zona de baixa produção da área. A classe de cor que representa a baixa produção está entre 2.088,20 Kg/ha – 2.420,10 Kg/ha.
- 5,34 ha representa a zona de alta produção da área, A classe de cor que representa a alta produção está entre 2.674,84 Kg/ha – 3.796,44 Kg/ha.

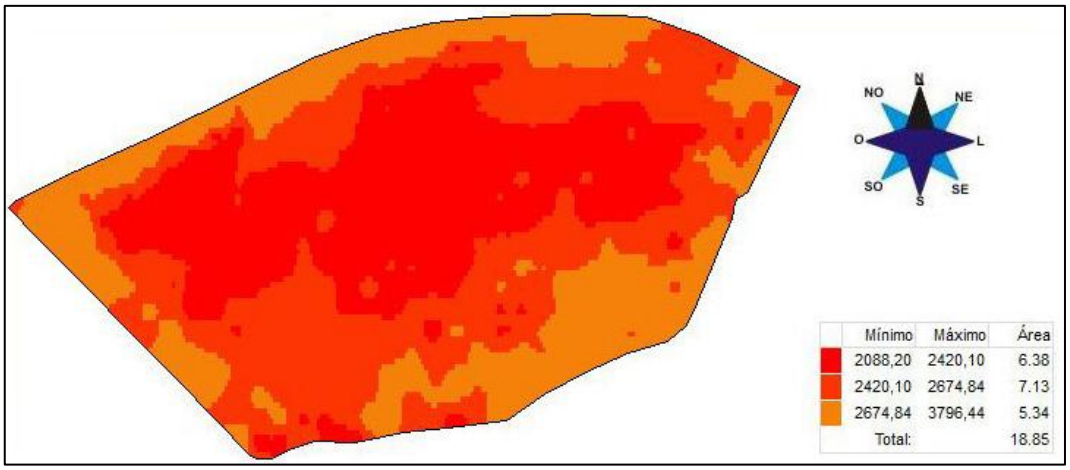

Figura 36 – Mapa de produtividade – Soja 2012.

Fonte: CR Campeiro.

A Tabela 1 apresenta o comportamento da produtividade das culturas ao longo dos anos de 2010, 2011 e 2012 com suas respectivas áreas de produção sobre o talhão.

Tabela 1 – Comparativo das áreas de produtividades

Cultura	Ano	Produtividade média (Kg/ha)	Área de produtividade média (ha)	Área de baixa produção (ha)	Área de alta produção (ha)
Soja	2010	3.012,93	10,31	4,20	4,34
Soja	2011	3.140,77	14,42	1,66	2,77
Soja	2012	2.547,47	7,13	6,38	5,34
Trigo	2010	4.423,18	12,94	2.95	2,95
Trigo	2011	3.153.14	7,10	5,62	6,13

4.4 Visualização do modelo digital do mapa de zonas de manejo

A Figura 37 é a representação gráfica do mapa com as zonas de manejo gerado pela interpolação dos cincos mapas de produtividade dos anos de 2010, 2011 e 2012 das culturas de soja e trigo.

Os mapas foram gerados com três classes de cores e seguindo com a distribuição das zonas de manejo conforme proposto por Molin (2002) para visualização do comportamento da distribuição e variação da produtividade sobre a área de estudo.

O talhão tem uma área total de 18,84 ha, onde 16,25 ha da área mantiveram-se dentro na produção média, 1,12 ha foi a área que manteve baixa produção e 1,47 ha foi a área que manteve uma produtividade alta durante o período de três anos. Estas informações podem ser observadas na legenda da Figura 37.

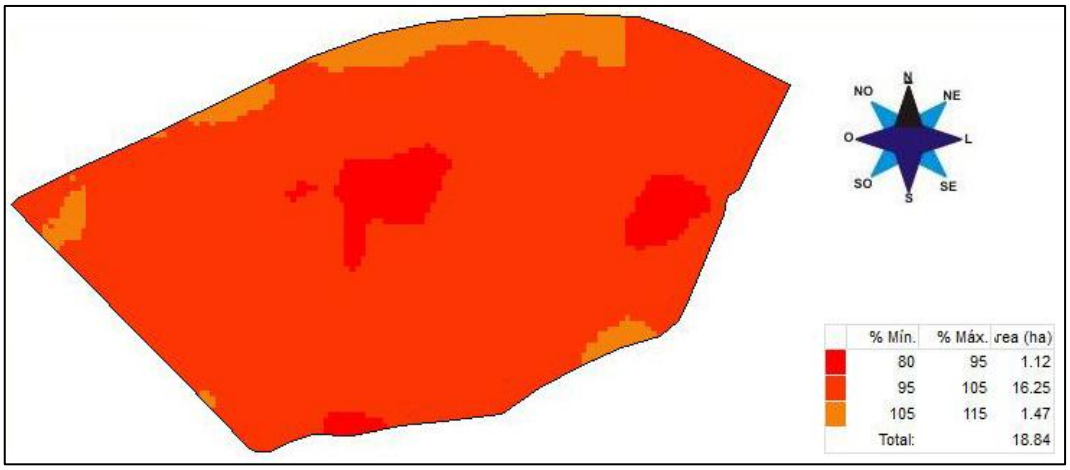

Figura 37 – Mapa de zonas de manejo

Fonte: CR Campeiro.

5 CONCLUSÃO

Através do uso dos programas computacionais CR Campeiro® e APEX® tornou-se possível gerar com sucesso os mapas de produtividade de soja e trigo entre os anos de 2010 e 2012.

Também houve a possibilidade de gerar a interpolação dos mapas de produtividade para as diferentes safras e culturas, possibilitando orientar a identificação de fatores potenciais e correção das zonas de baixa produtividade.

Foi possível concluir pela estabilidade produtiva da área e bom manejo pelo fato de predominância de zona de média produtividade (86,3%).

Da mesma forma pode determinar e analisar as zonas de baixa, média e alta produtividade da área de estudo através da interpolação dos mapas de produtividade durante o período de três anos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBA, P. J.; AMADO, T. J. C.; GIOTTO, E.; SCHOSSLER, D.; FIORIN, J. E. Agricultura de precisão: mapas de rendimento e de atributos de solo analisados em três dimensões. **Enciclopédia Biosfera**. Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 7, n. 13, 2011.

ANTUNIASSI, U. R.; BAIO, F. H. R.; SHARP, T. C. **Agricultura de Precisão.** Disponível em**:** <http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/algodao/publicacoes/cba6/palestras/1622.pdf>. Acesso em: 25 Ago. 2013.

BALASTREIRE, L. A.; BAIO, F. H. R. Avaliação do desempenho de um GPS com algoritmo otimizado sem sinal de correção para a agricultura de precisão. In: BALASTREIRE, L. A. **Avanços na agricultura de precisão no Brasil no período de 1998-2001**. Piracicaba, p.285-288. 2002.

BALASTREIRE, L. A. **O estudo da arte da Agricultura de Precisão no Brasil**. Piracicaba, 2000. 224 p.

BALASTREIRE, L. A. Potencial do uso da agricultura de precisão no Brasil. In: II Encontro paulista de soja, 2, 2000, Campinas. **Anais** Campinas, 2000. p.176-217.

BALASTREIRE, L.A.; ELIAS, I.A.; AMARAL, J.R. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade da cultura do milho. **Engenharia Rural**, n.8, p.97-111, 1997.

CAPELLI, N. L. **Agricultura de precisão-Novas tecnologias para o processo produtivo**. 2004. Disponível em: <http://www.bases.cnptia.embrapa.br >. Acesso em: 29 Jun. 2014.

DORNELLES, M. E. C de .**Viabilidade técnica de métodos de direcionamento sobre colhedora autopropelida de cana-de-açúcar**. 2014. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. UFSM, Santa Maria, 2014.

DUARTE, J. B. **Sobre o emprego e a análise estatística do delineamento em blocos aumentados no melhoramento genético vegetal.** Piracicaba, 2000. 292 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2000.

ELIAS, A. I. **Mapeamento da colheita mecanizada de grãos utilizando um sistema de posicionamento global**. 1998. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Área de Concentração de Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1998.

FOCHT, D.; ROLOFF, G.; SCHIEBELBEIN, L. M. Benefícios agronômicos, ambientais e monetários do uso da agricultura de precisão em diferentes cenários brasileiros. In: Congresso brasileiro de agricultura de precisão, 8 p. 2004, Piracicaba. **Anais.** Piracicaba: ESALQ/USP, 2004.

GIOTTO, E.; SEBEM, E.; CARDOSO, C. D. **Agricultura de Precisão com o Sistema CR Campeiro.** 7 - Volume I. Santa Maria: UFSM – Laboratório de Geomática, 2013, 91 p.

GIOTTO, E. **Caderno CR Campeiro N-1 :** Estruturação de Mapas de Produtividade. Disponível em: <http://pt.calameo.com/read/0011028064e2bc7693dfb>.Acesso em : 17 jul. 2014.

GIOTTO, E. **EAD Sistema CR Campeiro 7:** Malha de Amostragem. Disponível em: <http://crcampeiro.net/videos/EX_AP_Malha.pdf> Acesso em: 17 jul. 2014.

GIOTTO, E. **Projeto CR Campeiro.** Disponível em: <http://www.crcampeiro.net/ novo/Pages/apresentacao >. Acesso em: 07 Jul. 2014.

GOERING, C. E. Recycling a concept. **Agricultural Engineering,** St. Joseph, v. 74, p.25, 1993.

JOHN DEERE, A. **AMS – Soluções em Gerenciamento Agrícola.** Disponivel em: <http://www.johndeere.com/produtos/AMS.htm>. Acesso em: 03 Mar. 2013.

KELLOG, C.E. We seek; we learn. In: Stefferud, A. (ed). **The yearbook of agriculture**, 1957: Soil. Washington: U.S. Department of Agriculture e U.S. Government Printing Office.1957, p.1-11.

LAMPARELLI, R. A. C. **Agricultura de Precisão**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_72_711200516719.html >. Acesso em: 21 Ago. 2013.

LANDIM, P. M. B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 02, 20 p. 2000. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/DIDATICOS/LANDIM/interpo.pdf>. Acesso em: 30 set. 2014.

MANTOVANI, E. C. **Agricultura de precisão e sua organização no Brasil**. Agricultura de Precisão. Viçosa, 2000. p.79-92.

MOLIN, J. P. **A realidade de hoje na agricultura de precisão.** Informativo da Fundação ABC, Castro. p.4-6, 2001.

MOLIN, J. P. **Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão.** Disponível em: <http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT190_principios_em_agricultura_de_precisao/livros/Capitulo_10.pdf>. Acesso em: 29 Jun. 2014.

MOLIN, J. P. **Agricultura de Precisão.** O Gerenciamento da Variabilidade, Piracicaba, 2001. 83 p.

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

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS:** descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo: UNESP ,2007. 433 p.

PIRES, J. L. F.; CUNHA, G. R. da; PASINATO, A.; FRANÇA, S.; RAMBO, L. **Discutindo agricultura de precisão - aspectos gerais.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 18 p.

PREFEITURA municipal de Faxinal. **Município de Faxinal.** Disponível em: <http://faxinal.pr.gov.br/index.php?sessao=9c16885061nc9c&id=62>. Acesso em: 07 jul. 2014.

RESENDE, A. V.; SHIRATSUCHI, L. S.; COELHO, A. M.; CORAZZA, E. J.; VILELA, M. F.; INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; BASSOI, L. H.; NAIME, J. M. **Agricultura de Precisão no Brasil: Avanços, Dificuldades e Impactos no Manejo e Conservação do Solo, Segurança Alimentar e Sustentabilidade** – Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/870646/1/Agriculturaprecisao.pdf>. Acesso em: 25 Ago. 2013.

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

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. 2007. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciência do solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SEARCY, S. W. Engineering systems for site-specific management: opportunities and limitations. In: INTERNATIONAL MANAGEMENT FOR AGRICULTURAL SYSTEMS, 1, Madison, Estados Unidos, **Proceedings,** 1995.

SEBEM, E.; CATEN, A. T.; ROBAINA, A.D.; MOREIRA, A. L. L.; PELLEGRINI, G. C. **Fundamentos de cartografia e o sistema de posicionamento global GPS.** Santa Maria: UFSM /Colégio Politécnico/Departamento de Engenharia Rural, 2010. 205 p.

SILVA, C. B.; MORETTO, A. C.; RODRIGUES. R. L. **Viabilidade econômica da agricultura de precisão:** O Caso do Paraná, Disponível em: <http://www.sober.org. br/palestra/12/12O499.pdf>. Acesso em: 12 Jul. 2013.

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

SILVA, R. D.; ANTUNES, F. U. M.; GIROTTO, J.; FELIPE, M. O. P.; SANGOI, F. L.; GIOTTO, E. **Mapas de produtividade na agricultura de precisão**. Disponível em: < http://mundogeo.com/blog/2000/01/01/mapas-de-produtividade-na-agricultura-de-precisao/>. Acesso em: 07 Jul. 2014.

VARELLA, C. A. A **Mapeamento da variabilidade espacial**. Departamento de Engenharia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT190_principios_em_agricultura_de_precisao/Aulas/MAPEAMENTO%20DA%20VARIABILIDADE%20ESPACIAL.pdf .>. Acesso em: 07 Jul. 2014.

ZAMBOLIM, L.; CONCEIÇÃO, M. Z.; SANTIAGO, T. **O que os engenheiros agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários**. 3. ed. Viçosa: UFV/DFP, 2008. 464p.