

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo – SDC
Ministério da Educação
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Agricultura de Precisão com o Sistema CR Campeiro 7 – Volume I

Organizadores:
Enio Giotto
Claire Delfini Viana Cardoso
Elódio Sebem

Santa Maria, RS
2013

Exemplares desta publicação serão distribuídos com o Sistema CR - Campeiro

*Ministério da Educação
Universidade Federal de Santa Maria*

*Laboratório de Geomática - DER / CCR
Campus Universitário – Camobi
97105-900 – SANTA MARIA – RS
Fone: (0xx55) 3220 8788
www.crcampeiro.net*

*Capa e Projeto Gráfico: Elódio Sebem
Editoração Eletrônica: Enio Giotto, Claire Delfini Viana Cardoso, Elódio Sebem*

A278 Agricultura de Precisão com o Sistema CR Campeiro 7 - Volume
 1 / organizadores: Enio Giotto, Claire Delfini Viana Cardoso,
 Elódio Sebem. – Santa Maria : UFSM – Laboratório de
 Geomática, 2013.
 pt.1 : il. ; 30cm

 1. Geoprocessamento 2. Sistemas de Informação
 Geográfica 3. Sistema CR Campeiro 7 4. Agricultura de precisão
 5. Georreferência I. Giotto, Enio II. Cardoso, Claire Delfini Viana
 III. Sebem, Elódio

 CDU 528.7/.9

Ficha catalográfica elaborada por Maristela Eckhardt - CRB-10/737
Biblioteca Central da UFSM

Autoridades

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Antônio Eustáquio Andrade Ferreira

Ministro de Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Caio Tibério Dornelles da Rocha

Secretário de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo

Helcio Campos Botelho

Chefe do Depto de Propriedade Intelectual e Tecnologia Agropecuária

Roberto Lorena de Barros Santos

Coordenação de Acompanhamento e Promoção da Tecnologia Agropecuária

Ministério da Educação

Aloizio Mercadante

Ministro de Estado da Educação

Felipe Martins Müller

Reitor da Universidade Federal de Santa Maria

Thomé Lovato

Diretor do Centro de Ciências Rurais

Rudiney Soares Pereira

Chefe do Depto de Engenharia Rural

Equipe Técnica – Curso EaD e Desenvolvimento

Enio Giotto

Engenheiro Florestal, Doutor
Profº Titular / Departamento de Engenharia Rural - CCR - UFSM
eniogiotto@gmail.com

Claire Delfini Viana Cardoso

Geógrafa, Doutora
Profª Adjunta / Colégio Politécnico da UFSM
cdvcardoso@gmail.com

Elódio Sebem

Engenheiro Florestal, Doutor
Profº de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico / Colégio Politécnico da UFSM
elodiosebem@politecnico.ufsm.br

Diana Bertani Giotto

Médica Veterinária, Doutora
Profª de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico / Colégio Agrícola de FW
dbertani@hotmail.com

Luiz Patric Kayser

Arquivologista, Mestre
Profº Assistente / Colégio Politécnico da UFSM
patric@politecnico.ufsm.br

Gustavo Heydt Réquia

Bacharel em Sistemas de Informação
Profº de Ensino Técnico / Antônio Meneghetti Faculdades
grequia@gmail.com

Andressa V. Karsburg

Acadêmica Engenharia Florestal / UFSM
andressakg@hotmail.com

Charles Steinmetz

Acadêmico Sistemas de Informação / UNIFRA
charlessteinmetz@gmail.com

Cristiane Martins Moreira

Acadêmica Tecnologia em Geoprocessamento / UFSM
martinscristianem@yahoo.com

Fábio Soares Pires

Acadêmico Engenharia Florestal / UFSM
fabinho.br@hotmail.com

Vanessa Cassenote

Acadêmica Engenharia da Computação / UFSM
vanessacassenote.92@gmail.com

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	10
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Contribuição da Universidade Federal de Santa Maria para o desenvolvimento da Agricultura de Precisão no Brasil	11
1.2 Introdução a Agricultura de Precisão	12
1.3 Agricultura de Precisão: Considerações gerais sobre histórico, evolução, tecnologias, conceitos e aplicações	13
2 MALHAS DE AMOSTRAGEM.....	17
2.1 Amostragem de Solo para Mapas de Fertilidade	17
2.2 Estruturação de Malha de Amostragem	19
2.3 Etapas de Construção.....	20
2.3.1 Definição da área de abrangência da malha.....	20
2.3.2 Modelos de “Grid”	22
2.3.3 Visualização e Edição da Malha de Amostragem	23
a) Função: Identificação dos Pontos Amostrais	23
b) Função: Roteiro de Amostragem	24
c) Função: Sobrepor arquivos	29
2.3.4 Opções de Impressão e Relatórios.....	30
2.3.5 Salvar a Malha de Amostragem – Arquivo Vetorial	31
a) Padrão da Malha:.....	32
b) Identificação:	32
c) Entidade que será armazenada no arquivo.....	32
2.3.6 Salvar a Malha de Amostragem – Arquivo de Imagem	33
2.3.7 Estruturar Malha de Amostragem com arquivo vetorial.....	36
2.3.8 Estruturar Malha de Amostragem comum a vários talhões.....	37
3 PROJETO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO	40
3.1 Conceituação de Projeto de Agricultura de Precisão	40
3.2 Estruturar Projeto de Agricultura de Precisão.	43
3.2.1 Processo Inicial	43
3.2.2 Recuperação de arquivo de pontos	45
3.3 Estruturação do PAP a partir de Dados Externos – Abrindo um arquivo CSV	47
3.4 Análise Estatística Descritiva – Dados CSV e de Projetos de AP	49
3.5 Recuperar PAP existente	51
3.6 Salvar/Exportar – Dados	52

3.7 Análise Geoestatística.....	53
4 MODELOS DIGITAIS.....	57
4.1 Conceitos e Definições.....	57
4.2 Geração de Modelo Digital a partir de Projeto de AP.....	58
4.2.1 Etapas de Construção.....	60
4.2.1.1 Primeira etapa: Seleção do talhão.....	61
4.2.1.2 Segunda etapa: Recuperação do PAP.....	62
4.2.1.3 Terceira etapa: Parâmetros do Modelo.....	63
4.2.1.4 Quarta etapa: Interpolação.....	64
4.2.1.5 Quinta etapa: Análise de Precisão do Modelo.....	65
4.2.2 Referência do Modelo Digital do Terreno.....	67
4.2.3 Operações Especiais com Modelos Digitais Estruturados.....	69
4.2.3.1 Recuperar Modelo Digital Estruturado.....	69
4.2.3.2 Visualizar Modelo Digital.....	69
4.2.3.3 Operações de impressão, exportação ou exclusão de MDT70	
4.2.4 Refinamento de MDT.....	71
4.2.5 Geração de Modelos Digitais de Declividade.....	73
4.2.6 Geração de Modelos Digitais por Kriggagem.....	79
4.2.7 Estruturação de MDT a partir de arquivos vetoriais – opções do	
menu arquivo.....	82
4.3 Considerações sobre processos de interpolação usados no CR	
Campeiro.....	82
4.3.1 Interpolação: Inverso do Quadrado da Distância.....	82
4.3.2 Interpolação – Kriggagem.....	83
a) Krigagem – Conceitos e Definições.....	84
b) Vantagens:.....	84
c) Desvantagens.....	85
d) Quando usar.....	86
e) Quando não usar.....	86
4.3.3 Interpolação – Equações Polinomiais (Superfície de Tendência)	
.....	89
a) Conceitos e Definições.....	89
b) Vantagens:.....	90
c) Desvantagens.....	90
REFERENCIAS.....	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Constelação de Satélites GPS.....	14
Figura 2. Ciclo da Agricultura de Precisão.....	16
Figura 3. Esquema de amostragem com cinco pontos.....	18
Figura 4. Distribuição de pontos para coleta de amostras de solo.....	18
Figura 5. Estruturação de Malha de Amostragem.....	19
Figura 6. Recuperação e espacialização de um talhão.....	21
Figura 7. Recuperação de dois talhões do cadastro espacial.....	21
Figura 8. Parâmetros da Malha de Amostragem.....	22
Figura 9. Visualização e Edição da Malha de Amostragem.....	23
Figura 10. Identificação de pontos amostrais – Código.....	24
Figura 11. Visualização de malha hexagonal com a identificação dos pontos.....	25
Figura 12. Roteiro de Amostragem.....	25
Figura 13. Pontos vetorizados sobre a malha original estruturada.....	26
Figura 14. Mensagem para salvar os pontos amostrais.....	27
Figura 15. Ponto com a posição alterada.....	27
Figura 16. Pontos de amostragem com posição redefinida.....	28
Figura 17. Ponto acrescido na malha.....	28
Figura 18. Sobreposição de arquivo vetorial, sobre a malha de amostragem.....	29
Figura 19. Roteiro de deslocamento entre os pontos de amostragem.....	29
Figura 20. Roteiro de Deslocamento entre os pontos amostrais sem edição.....	30
Figura 21. Croqui da Malha de Amostragem.....	30
Figura 22. Relatório dos pontos de amostragem.....	31
Figura 23. Salvar a Malha de Amostragem.....	31
Figura 24. Sobreposição de malha e pontos – Arquivo KML.....	33
Figura 25. Opções do Menu <Arquivo> para salvar imagens digitais.....	33
Figura 26. Conteúdo de arquivo TFW de georreferência de imagem geotiff.....	34
Figura 27. Estrutura de dados de registro de georreferencia SITER.....	34
Figura 28. Sobreposição no Cadastro Espacial - Geoprocessamento.....	35
Figura 29. Sobreposição como imagem no Google Earth.....	35
Figura 30. Georreferer	
Figura 31. Abrir arquivo de coordenadas geográficas VET/TXT.....	37
Figura 32. Arquivo vetorial aberto.....	37
Figura 33. Malha de Amostragem comum a vários talhões.....	38
Figura 34. Espacialização dos shapex de células e pontos de amostragem.....	39
Figura 35. Locação da malha de amostragem conjunta sobre o GE.....	39

Figura 36. Estrutura de Projeto de Agricultura de Precisão.	41
Figura 37. Dados georreferenciados de Projeto de AP.	41
Figura 38. Seleção de talhão e guia Planilha de Dados.	42
Figura 39. Guia de pontos amostrais.	42
Figura 40. Seleção de talhão.	43
Figura 41. Digitação de pontos amostrais (E, N, Z).	44
Figura 42. Identificação do Projeto.	45
Figura 43. Pontos amostrais e identificação da coluna de associação na planilha.	46
Figura 44. Relação das coordenadas do arquivo.	46
Figura 45. Arquivo de análise de solo aberto na planilha de dados.	48
Figura 46. Associação de coordenadas a um conjunto de análises de solo.	48
Figura 47. Registro Múltiplo de Projetos.	49
Figura 48. Análise Estatística.	51
Figura 49. Recuperação de Projeto de AP.	52
Figura 50. Tabela com os dados do PAP – BD SQLite.	53
Figura 51. Cálculo do semivariograma.	56
Figura 52. Gráfico do semivariograma.	56
Figura 53. Estrutura conceitual de um modelo digital.	57
Figura 54. Tabela padrão de Modelo Digital do Terreno – BD Access.	59
Figura 55. Função de Estruturação de Modelo Digital do Terreno – Origem PAP.	60
Figura 56. Estruturação de completa de MDT a partir de PAP.	61
Figura 57. Recuperação do talhão registrado.	62
Figura 58. Definição da área do modelo digital.	62
Figura 59. Recuperação de Projeto de AP.	63
Figura 60. Geração do Modelo Digital.	64
Figura 61. Mapa resultante da interpolação com a legenda.	65
Figura 62. Precisão do Modelo.	66
Figura 63. Relatório da análise de precisão do modelo.	66
Figura 64. Referência de Modelos Digitais.	68
Figura 65. Operações especiais com modelos digitais.	69
Figura 66. Dados Estatísticos do Modelo Digital.	69
Figura 67. Visualização de MDT em Classes Fixas.	70
Figura 68. Operações de impressão e exportação de MDT.	71
Figura 69. Refinamento/Duplicação de MDT.	72
Figura 70. Formulário de função de Modelos Digitais de Elevação de Modelos Digitais de Elevação. Rotina de Geoprocessamento SRTM-ASTER.	74

Figura 71. Exportação de arquivo de imagem de MDE.....	74
Figura 72. Geração de Modelo Digital de Altitudes.....	75
Figura 73. Visualização de MDT de altitudes com a resolução original da imagem SRTM – 90 metros.	76
Figura 74. Modelo Digital após refinamento;.....	76
Figura 75. Método: Zevenberger-Thorne.	77
Figura 76. Modelo de declividades – Original. Método de Máximo Gradiente.....	78
Figura 77. Modelo de declividades refinado.....	79
Figura 78. Estruturação de MDT – Sistema de AP.	80
Figura 79. Análise do Semivariograma.	81
Figura 80. Cálculo e espacialização de MDT a partir do interpolador krigging.	81

Apresentação

A Agricultura de Precisão com o Sistema CR Campeiro 7 tem o objetivo de apresentar de forma prática e operacional, as funções e rotinas do programa aplicadas ao processo de gestão e manejo de atividades agrícolas e florestais que englobam as tecnologias que caracterizam essa área.

Neste primeiro volume são contextualizados os princípios básicos da Agricultura de Precisão, seus estágios iniciais, formas de abordagem, metodologias de levantamento, organização de dados e mapeamentos com finalidade de análise e interpretação que possibilitam a tomada de decisão por parte do técnico ou gestor.

Espera-se que esse conteúdo inicial sirva de referência e incentivos a todos os que utilizam as geotecnologias como apoio em trabalhos técnicos e incrementos no espaço agrícola.

1.1 Contribuição da Universidade Federal de Santa Maria para o desenvolvimento da Agricultura de Precisão no Brasil

O Histórico da Universidade Federal de Santa Maria, através de seus Programas de Pós Graduação em Ciência do Solo, Engenharia Agrícola e Geomática, contribuiu nesta última década com um significativo número de artigos científicos, dissertações de mestrado e teses de doutorados nesta nova área do conhecimento que se conceituou chamar de Agricultura de Precisão, incluindo-se os Departamentos de Agronomia – CESNORS, Engenharia Rural, Defesa Fitossanitária e Solos do CCR, que desenvolvem diversos projetos de extensão com empresas de atuação em vários segmentos do agronegócio, fabricantes de máquinas agrícolas, indústrias de fertilizantes e de defensivos agrícolas, cooperativas e outros.

Entre esses projetos de extensão destaca-se o CR Campeiro com objetivo principal de proporcionar ao produtor rural, o profissional e o acadêmico da área rural, ferramentas informatizadas de gestão e a partir do desenvolvimento de rotinas aplicadas à agricultura de precisão, tornaram o mesmo, o primeiro programa computacional nesta área no Brasil, com usuários em todas as regiões agrícolas do país, e mantendo hoje, duas atividades de relevância, a primeira com o treinamento de usuários em Ensino a Distância e outra sendo a disponibilidade gratuita de aplicativos de tecnologia móvel para tablets e smartphones.

O histórico da UFSM e sua comprovada capacitação técnico científica na área, foram fatores decisivos na criação do primeiro Mestrado Profissional em Agricultura de Precisão no Brasil, com vinculação administrativa no Colégio Politécnico da UFSM, contando com a participação de docentes do Departamento de Agronomia do CESNORS e dos Departamentos de Defesa Fitossanitária, Engenharia Rural, Solos do CCR e do Colégio Politécnico, além da contribuição voluntária de pesquisadores com vinculação a empresas da iniciativa privada como AGCO, FUNDACEP e STARA

Iniciativas com a participação da UFSM, como o Projeto Aquarius com a parceria da AGCO, STARA, COTRIJAL, YARA e Fazenda Anna, tem proporcionado a difusão das tecnologias de AP, aos produtores rurais do Brasil.

Outro projeto com a participação da UFSM é o Projeto APCOOP, coordenado pela FUNDACEP – RS e integrado por várias cooperativas do Rio Grande do Sul com atuação na produção agrícola.

1.2 Introdução a Agricultura de Precisão

Uma das mais frequentes preocupações e também motivação da pesquisa agrônômica moderna, trata do incremento da produtividade por unidade de área, com redução de custos de produção, minimização de efeitos ambientais danosos e aumento da rentabilidade do produtor rural, entre outros fatores.

Este balizamento proporcionou, nas últimas décadas, o surgimento de novas tecnologias agrícolas, seja em termos de sementes, fertilizantes, defensivos, máquinas e sistemas especializados de produção e de manejo, que foram colocados a disposição da agricultura, para proporcionar uma prática racional, produtiva, econômica, equilibrada da exploração do solo.

É impossível diferenciar neste contexto de avanços da pesquisa agrícola, quais as tecnologias, métodos e processos que se sobressaem como de maior importância, pois em relação a otimização da produção, elas se conjugam em função da interação muito forte entre os segmentos da pesquisa envolvidos. Por exemplo: a prática do plantio direto, além de sua importância fundamental na conservação do solo, foi o elemento precursor e responsável pelo surgimento de novas cultivares agrícolas, maquinaria especializada, insumos e novos paradigmas de produtividade e de manejo do solo, entre outros.

Em paralelo ao desenvolvimento agrícola, observou-se nos últimos anos, um notável avanço em duas áreas: a área da topografia e geodésia, que com o surgimento da tecnologia GPS, resultou em simplificação e rapidez nas definições de posicionamento sobre a superfície terrestre; a outra área, a da informática, em termos da tecnologia da informação, atingiu todo o espectro do conhecimento humano, alicerçando e impulsionando de forma ímpar, nunca observada na história da humanidade, o desenvolvimento da ciência como um todo.

Assim, pode-se resumir, que a Tecnologia da Informação e a Tecnologia GPS, combinadas e aplicadas às Ciências Agrícolas, geraram um novo

campo no conhecimento agrônomo e no vocabulário de técnicos e produtores rurais, a Agricultura de Precisão.

Na Agricultura de Precisão, que tem como objetivos maximizar os resultados econômicos, se almeja o aumento de produtividade, pela correção dos fatores que contribuem para sua variabilidade, utilizando-se de um menor consumo de insumos; otimizar os recursos naturais, preservando o meio ambiente, onde as culturas deixam de receber um tratamento uniforme e passam a receber um tratamento variável (preparo do solo, correção de fertilidade e pulverização), ou seja, fertilizantes e agrotóxicos serão aplicados de maneira localizada, em quantidades variáveis, buscando reduzir o impacto ambiental, causado pelo excesso de insumos utilizados; controlar e rastrear o trabalho, possibilitando eventuais reparos nos manejos aplicados no campo e ganhos agregados à produção. A Agricultura de Precisão baseia-se em um novo conceito de gerenciamento agrícola, que modifica as antigas técnicas, introduzindo novos instrumentos e ferramentas.

Neste contexto, segundo Rocha (1999), surge a Agricultura de Precisão, envolvendo o uso das chamadas geotecnologias como sistemas de posicionamento global (GPS – Global Positioning System), sistemas informatizados de coleta de dados, sensores remotos locais, orbitais e não orbitais, softwares para tratamento e mapeamento desses dados (Sistema de Informações Georreferenciadas – GIS) e sistemas eletrônicos de acionamento e controle de máquinas agrícolas.

A utilização da tecnologia na Agricultura de Precisão está diretamente relacionada com a variabilidade espacial e temporal de diversas variáveis de solo (composição química e composição física), de planta (cultivar, densidade de plantio, nutrientes absorvidos, ataque de ervas, fungos, insetos), clima (temperatura, umidade, luminosidade, vento) e externos (invasão de animais) influenciam na produtividade de uma cultura.

1.3 Agricultura de Precisão: Considerações gerais sobre histórico, evolução, tecnologias, conceitos e aplicações

Apesar da tecnologia de Agricultura de Precisão estar disponível no mercado há aproximadamente uma década, Elias e Camargo (2000) relataram que seus conceitos fundamentais foram concebidos no ano de 1929 quando os pesquisadores C. M. Linsley e F. C. Bauer (EUA) comprovaram a existência da

variabilidade espacial da acidez do solo e obtiveram reduções significativas nos custos da produção de grãos, sem o comprometimento da produtividade, realizando a aplicação diferenciada de calcário em uma área experimental. Na época, alguns agricultores obtiveram reduções de até 40% nos custos com a aplicação diferenciada do insumo. Tal aplicação era realizada manualmente, uma vez que as áreas produtivas eram pequenas.

O desenvolvimento de novas pesquisas em Agricultura de Precisão iniciou-se a partir de 1980. Num primeiro momento as pesquisas concentravam-se na área de desenvolvimento de sensores, posteriormente, em 1993 com a disponibilização do Sistema de Posicionamento Global (GPS) para uso civil, houve um aumento no número de pesquisas voltadas para agricultura de precisão (QUEIROZ et. al., 2000).

O surgimento desta tecnologia tornou-se fundamental para a aplicação do conceito de Agricultura de Precisão desenvolvido no início do século passado, passando a ser possível realizar o mapeamento da produção e aplicação localizada de insumos à taxa variável.

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) foi criado pelo Departamento de Defesa dos EUA, sendo constituído por vinte e sete satélites espaciais (vinte e quatro em uso e três reservas) com transmissores de sinais acoplados a estes. O sinal do equipamento nos fornece a posição espacial (latitude e longitude) de um ponto sobre a superfície terrestre em um referencial tridimensional.

Os satélites, como demonstrado na Figura 1, estão dispostos em seis planos orbitais espaçados por um ângulo de 60°, cada um com quatro satélites defasados de 90° entre si na órbita, estando os mesmos a uma altura média de vinte mil e duzentos km. Eles não são geoestacionários e possuem um período orbital (tempo gasto por um astro para dar uma volta completa em torno da Terra) de aproximadamente doze horas siderais (SILVA, 2000).



Figura 1. Constelação de Satélites GPS.

(Fonte: <http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Galaxy/5256/imagem/satelites.jpg>)

Giotto & Sebem (2001) relatam que os sistemas GPS hoje disponíveis no mercado, em função de sua precisão, podem ser genericamente classificados como:

- Geodésicos;
- Topográficos ou submétricos;
- Expeditos ou de navegação.

Os GPS de natureza geodésica utilizam a tecnologia diferencial, consistem da operação simultânea de dois aparelhos, recebendo os sinais dos satélites com duas frequências e a precisão, na determinação do ponto, é da ordem de milímetros.

Os GPS de natureza topográfica ou submétricos também utilizam a tecnologia diferencial e consistem da operação simultânea de dois aparelhos, mas recebendo os sinais de satélites com apenas uma única linha; dessa forma, suas precisões em nível de campo, são da ordem de cm.

Os GPS de navegação não utilizam a tecnologia diferencial e fornecem a posição de um ponto a partir do emprego de um único aparelho com precisão na obtenção das coordenadas da ordem de metros, sendo esta melhorada sensivelmente após a retirada, por parte do Governo Americano, do código SA (Selective Available), no ano 2000.

Na Agricultura de Precisão algumas operações, como por exemplo, a construção dos mapas de produção e de amostragem de solo, pode ser utilizado GPS sem a tecnologia de correção diferencial de sinal, pois há grande quantidade de dados para interpolação ou a acurácia desejada do “grid” de amostragem do solo, também pode ser compensada pela interpolação dos pontos.

O mesmo raciocínio, entretanto, não é válido para a aplicação de defensivos, com máquinas pulverizadoras equipadas com barra de luz, onde uma pequena variação espacial compromete a qualidade do trabalho como um todo.

Segundo Fraisse (1998), Agricultura de Precisão é uma nova tecnologia de informação, que possibilita o manejo da atividade agrícola, levando-se em consideração as variações espaciais e temporais do solo e da cultura. Esta nova tecnologia faz uso intenso de Sistema de Posicionamento Global (GPS), Sistemas de Informação Georreferenciadas (GIS – Geographic Information Systems) e sensores, permitindo a coleta, tratamento e análise de dados do campo.

O Sistema de Informação Georreferenciadas (GIS) é definido por Lamparelli et al (2001) como um sistema que engloba programas, procedimentos e módulos ou subsistemas, integrados e projetados para dar suporte ao armazenamento, processamento, análise, modelagem e exibição de dados e/ou informações espacialmente referenciadas, constituídas numa única base de dados. Estas informações podem ser armazenadas em uma estrutura regu-

lar de células (modelo raster) ou através de pontos, linhas e polígonos (modelo vetorial).

Balastreire (2000) define Agricultura de Precisão como um conjunto de técnicas que permite o gerenciamento localizado de culturas.

Para Blackmore (1997), a Agricultura de Precisão não é simplesmente a habilidade de aplicar tratamentos variáveis em níveis locais, mas deve ser considerada como a capacidade de monitorar e avaliar precisamente o empreendimento no local e ao nível da fazenda, assim como ter o entendimento dos processos envolvidos, para ser capaz de aplicar os insumos de tal maneira a alcançar determinadas metas.

Na agricultura tradicional, se pressupõe que o solo apresenta-se homogêneo para as práticas agrícolas em relação ao manejo do solo, quando na realidade isto não é verdade, pois o solo possui características heterogêneas e que manejos considerando a média das necessidades para a área podem não representar a realidade, sendo necessário para a Agricultura de Precisão considerar a variabilidade espacial e temporal dos atributos dos solos e das plantas.

A Agricultura de Precisão pode ser ilustrada como um ciclo de atividades e tomada de decisões no sistema produtivo (Figura 2), pode ser dividido em três etapas:

- Colheita e geração de mapas de produtividade;
- Análise e avaliação do mapa de produtividade;
- Geração e execução de mapas de aplicação variável para as seguintes atividades: preparo do solo, plantio, fertilização do solo e pulverização.



Figura 2. Ciclo da Agricultura de Precisão.
(Fonte: www.arvus.com.br/img/safra_completa.jpg)

2 Malhas de Amostragem

2.1 Amostragem de Solo para Mapas de Fertilidade

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 próprio histórico de manejo de cultivos na área.

Portanto, a coleta de amostras de solo representativas constitui fator essencial para criação dos mapas de fertilidade, que devem refletir a realidade do solo em estudo.

Após o levantamento planimétrico da área onde se pretende gerar mapas de fertilidade, deve-se estruturar um “grid” de amostragem de solo. Este “grid” se caracteriza por possuir uma malha de tamanho regular, que facilite a identificação dos pontos amostrais a campo.

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

Na etapa de coleta propriamente dita, para o acesso aos pontos amostrais, o técnico poderá dispor de tecnologias sofisticadas como, por exemplo o “carrinho de amostragem”, equipado com GPS e um extrator hidráulico de amostras, com regulagem de profundidade, ou então, empregar um GPS simples de navegação e fazer a coleta pelos métodos tradicionais com cavadeira ou pá de corte.

O consenso entre pesquisadores destaca que a coleta de pontos não pode ser resumida unicamente ao ponto georreferenciado da amostra, sendo necessário que se colete amostras (subamostras) de solo de pontos próximos a estes, no sentido de compor uma amostra representativa deste local.

Outra discussão e também motivo de pesquisa trata de quantas subamostras devem ser coletadas para compor a amostra representativa do local, bem como a que distância deve estar do ponto central identificador da amostra.

De qualquer forma, o número mínimo de pontos deve ser de 5 (cinco) sendo que alguns pesquisadores recomendam até 15 (quinze) pontos e a distância de 3 a 10 metros em função do erro do GPS que no caso de navegação está na faixa de 5 metros

Na figura 3 apresenta-se um desenho amostral, empregado em diversos levantamentos, entre as quais do Projeto Aquarius, que consiste na primeira subamostragem ser realizada no ponto georreferenciado, enquanto que as outras quatro são tomadas a uma distância mínima de 3 metros da primeira, nas direções: norte, sul, leste e oeste.

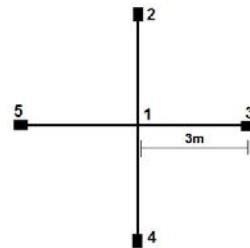


Figura 3. Esquema de amostragem com cinco pontos.

A figura 4 mostra outro exemplo de diagrama de distribuição de pontos de subamostras, utilizado em coletas de dados do Projeto APCOOP.

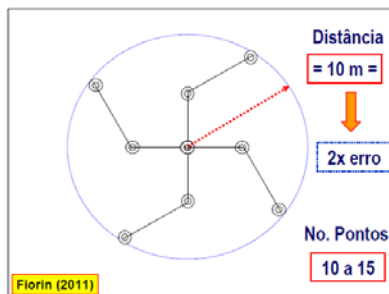


Figura 4. Distribuição de pontos para coleta de amostras de solo.
(Fonte: Florin, J. E. Projeto APCOOP – Fundacep-RS, 2011)

2.2 Estruturação de Malha de Amostragem

Entre as funções de Agricultura de Precisão 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.

A Figura 5 mostra a tela da função que possibilita a estruturação de malhas de amostragem tanto de formato retangular como hexagonal.

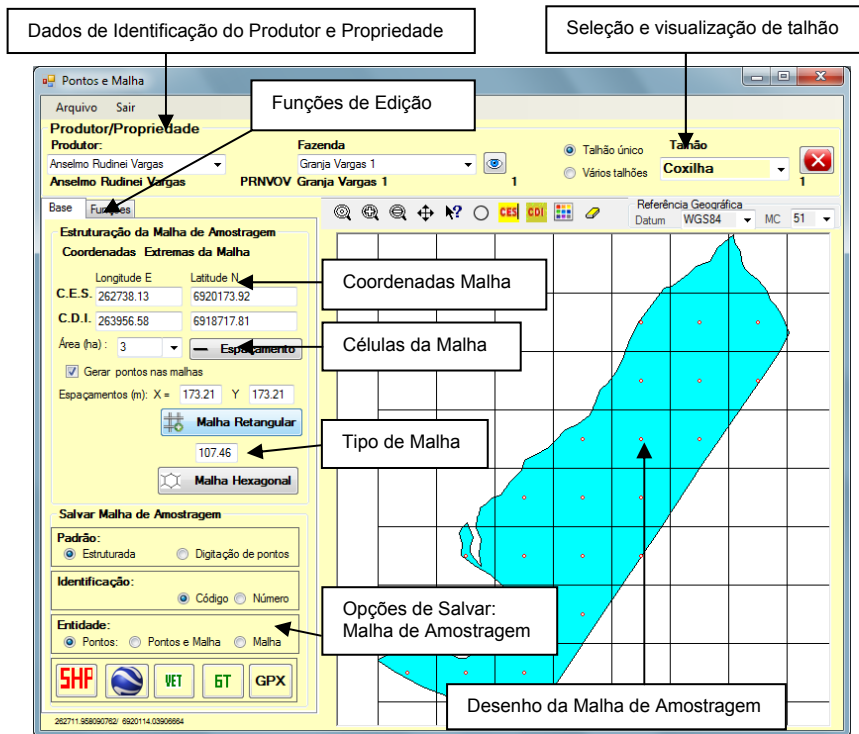


Figura 5. Estruturação de Malha de Amostragem

O procedimento para se efetuar esta estruturação tem os seguintes passos:

⇒ Selecionar o Produtor e a Propriedade.

- ⇒ Marcar a opção de visualização no quadro de desenho.
 - Talhão único.
 - Vários talhões.
- ⇒ Visualizar o(s) talhão(es) selecionado(s).
 - Esta ação define os limites da malha de amostragem.
 - Canto Esquerdo Superior – Canto Direito Inferior.
- ⇒ Selecionar ou informar a área da célula do “grid”.
- ⇒ Definir o espaçamento X,Y entre os pontos da malha.
 - Esta ação apresenta também o raio do hexágono correspondente à área informada.
- ⇒ Marcar a opção de visualizar os pontos centrais das células.
- ⇒ Visualizar a espacialização dos pontos de amostragem.
- ⇒ Processar edições se necessário diretamente na função visualização.
- ⇒ Salvar os pontos amostrais em um arquivo conforme as opções existentes, sendo que os códigos dos pontos identificarão sua posição em linha/coluna.

2.3 Etapas de Construção

2.3.1 Definição da área de abrangência da malha

A área de abrangência de uma malha de amostragem pode ser definida tanto por um único talhão ou pelo conjunto da propriedade.

No caso da definição ser o talhão marcar a opção <Talhão único> e ser for feita a seleção de mais de um talhão marcar a opção <Vários talhões>

Ao proceder a recuperação do talhão é apresentado o desenho do mesmo, as suas coordenadas extremas em UTM correspondendo ao canto esquerdo superior e o canto direito inferior, sendo essas coordenadas referenciais para a estruturação do grid.

As coordenadas extremas (CES,CDI) podem também ser definidas pelo usuário a partir de cliques identificadores no quadro de desenho onde esta espacializado o talhão ou os talhões selecionados.

As Figuras 6 e 7 apresentam respectivamente a seleção de um único talhão e de dois talhões.

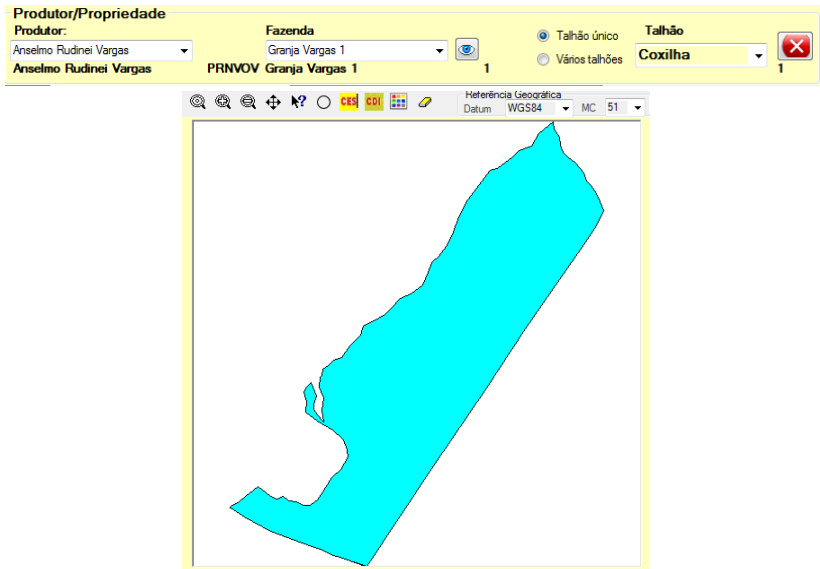


Figura 6. Recuperação e espacialização de um talhão.

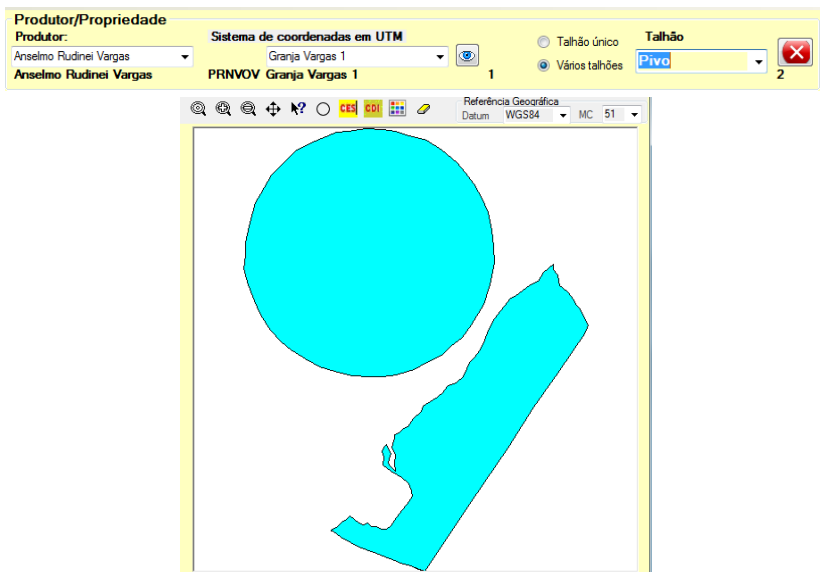


Figura 7. Recuperação de dois talhões do cadastro espacial

2.3.2 Modelos de “Grid”

Dois modelos distintos de malhas podem ser gerados no Sistema Campeiro, um modelo cujo “grid” apresenta células retangulares/quadradas e outro modelo de “grid” com células hexagonais, como na Figura 8.

O modelo de malha retangular consiste em ter espaçamentos regulares de mesma distancia entre as linhas (espaçamento y) e entre as colunas (espaçamento x).

Enquanto que no modelo de malha hexagonal este espaçamento é definido pelo raio do hexágono, delimitado a partir da informação da área da célula do grid.

A partir da seleção da área da célula calcula-se automaticamente os espaçamentos x e y, considerando neste caso um grid de formato quadrado com estes espaçamentos de valores idênticos, bem como o raio do hexágono.

Independente desta seleção pode-se informar diretamente nas caixas de texto valores distintos para os espaçamentos, quando se tem o interesse de estruturar uma malha de formato retangular.

The image shows a software interface for configuring a sampling grid. It has two tabs: 'Base' and 'Funções'. The 'Funções' tab is active, showing the 'Estruturação da Malha de Amostragem' section. This section is divided into 'Coordenadas' and 'Extremas da Malha'. Under 'Coordenadas', there are input fields for 'Longitude E' (262738.13) and 'Latitude N' (6920173.92). Under 'Extremas da Malha', there are input fields for 'C.E.S.' (262738.13) and 'C.D.I.' (263956.58). Below these, there is a dropdown menu for 'Área (ha)' set to '3' and a button labeled 'Espaçamento'. A checkbox 'Gerar pontos nas malhas' is checked. Below that, 'Espaçamentos (m): X = 173.21 Y 173.21' is displayed. At the bottom, there are two radio buttons: 'Malha Retangular' (selected) and 'Malha Hexagonal'. A numerical value '107.46' is shown between the two radio buttons. Several callout boxes with arrows point to specific elements: 'Coordenadas Iniciais da malha – UTM' points to the top of the 'Coordenadas' section; 'Cálculo de: Espaçamento x,y Raio Hexágono' points to the 'Espaçamento' button; 'Área da célula (ha)' points to the 'Área (ha)' dropdown; and 'Tipo de Malha' points to both the 'Malha Retangular' and 'Malha Hexagonal' radio buttons.

Figura 8. Parâmetros da Malha de Amostragem.

2.3.3 Visualização e Edição da Malha de Amostragem

A partir da definição do modelo de malha e de seus parâmetros, a mesma pode ser visualizada e editada antes de ser salva.

Além da apresentação do mapa, da posição espacial pode-se, a partir de funções específicas, realizar a identificação dos pontos amostrais e também executar diversos processos de edição, como a impressão de relatórios referente aos pontos, impressão do mapa do grid e sobreposição de arquivos vetoriais entre outros. A Figura 9 apresenta a tela de edição.

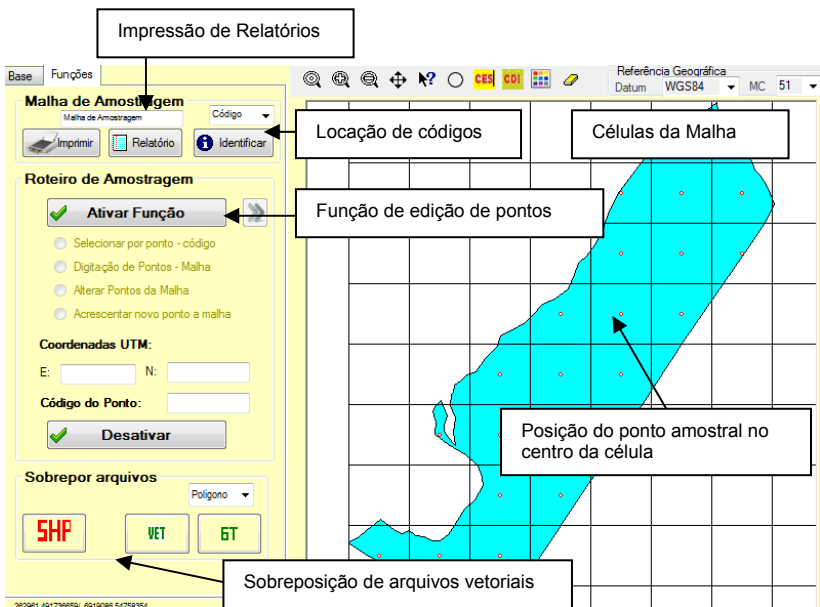


Figura 9. Visualização e Edição da Malha de Amostragem.

a) Função: Identificação dos Pontos Amostrais

Os pontos amostrais podem ser identificados no quadro de desenho através de seu código, de sua sequência numérica ou ainda por uma combinação entre os casos anteriores.

A Figura 10 mostra a identificação dos pontos pela sua codificação que é dada pela intersecção de linha e coluna.

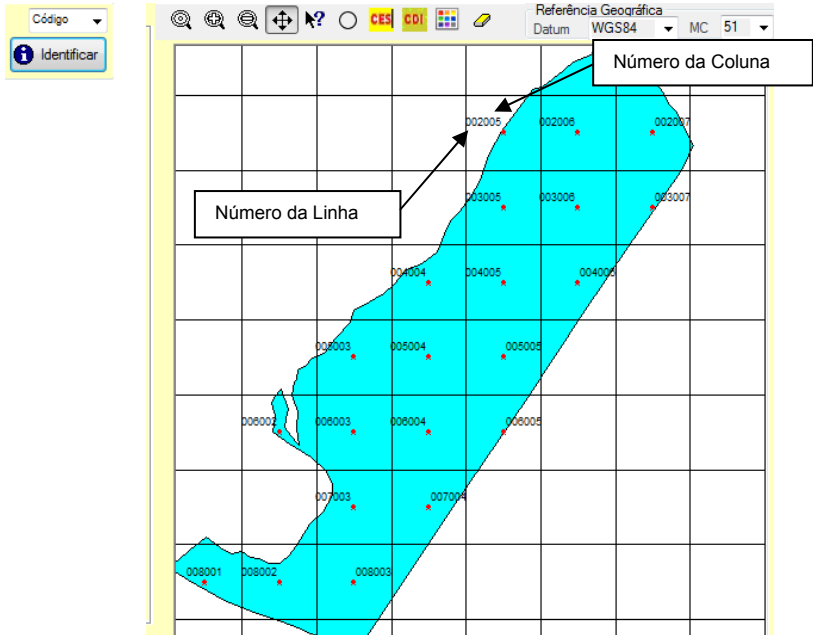


Figura 10. Identificação de pontos amostrais – Código.

O critério de codificação numérica adotado é o seguinte:

Código do ponto => LLLCCC

Onde: LLL = Número da linha

CCC= Número da coluna

Assim, um ponto com identificação 002005, é o ponto localizado na interseção da linha 2 com a coluna 5, e esta é a identificação que pode ser “carregada” para o GPS, para o processo posterior de navegação e localização na lavoura. Os pontos também podem ser identificados a partir de uma sequência numérica e a Figura 11 mostra a estruturação de uma malha hexagonal com a identificação dos pontos desta forma.

b) Função: Roteiro de Amostragem

São operações destinadas a promover edições na malha de amostragem diretamente sobre o desenho da visualização.

Estas operações somente podem ser executadas após pressionar o botão <Ativar Função>, e o quadro do Roteiro de Amostragem é apresentado na Figura 12.

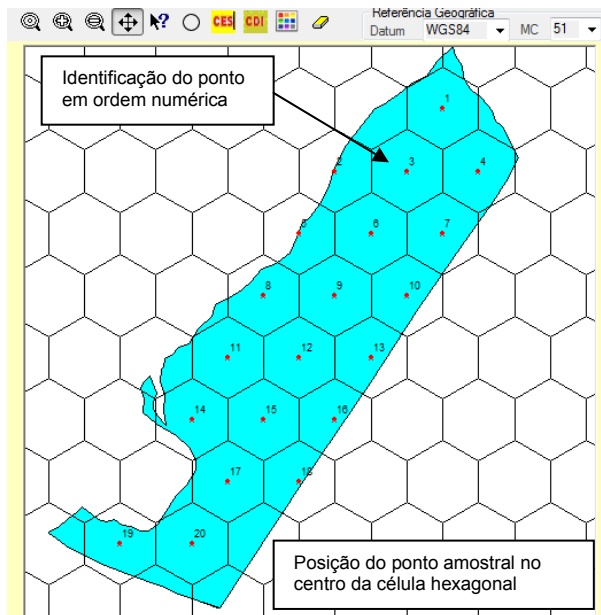


Figura 11. Visualização de malha hexagonal com a identificação dos pontos.

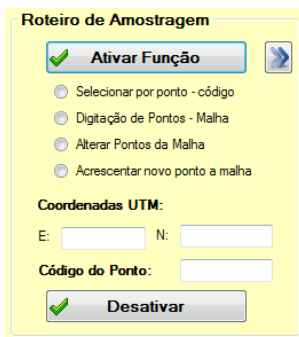


Figura 12. Roteiro de Amostragem.

As operações de edição sobre a malha de amostragem são as seguintes com a demonstração de seu procedimento:

1. Selecionar ponto - código:

Não se trata propriamente de uma operação de edição, consiste em identificar por um clique na célula, qual o código identificador da mesma.

2. Digitação de pontos - Malha.

Consiste em se definir uma nova estrutura de malha, por digitação diretamente sobre a malha, se atribuindo aos pontos a identificação numérica sequencial e a posição planimétrica da posição clicada.

A malha estruturada anteriormente e em presente visualização neste caso é desconsiderada, prevalecendo a nova estrutura.

O uso desta operação é recomendado para definir um roteiro de deslocamento na lavoura de forma a otimizar a localização de pontos, e isto exige do operador de campo um conhecimento prévio das condições topográficas e outras desta lavoura

O exemplo abaixo (Figura 13) mostra esta redefinição a partir da digitação de todos os pontos da malha original.

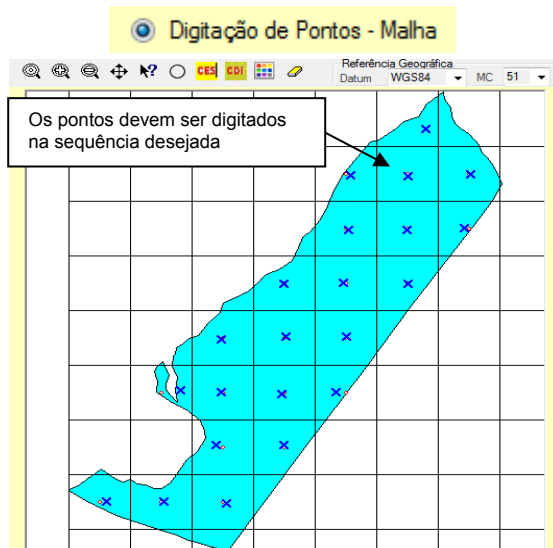


Figura 13. Pontos vetorizados sobre a malha original estruturada.

Ao encerrar a digitação dos pontos é apresentado uma mensagem informando que o conjunto de pontos deve ser salvo (Figura 14).

Após a malha deve ser salva como um arquivo vetorial, ela posteriormente pode ser recuperada na função: <Sobreposição de Arquivos>, para se possa visualizar o roteiro otimizado de deslocamento sobre a lavoura.

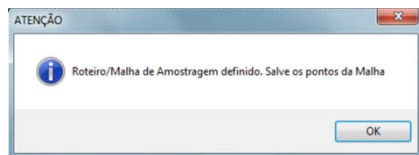


Figura 14. Mensagem para salvar os pontos amostrais.

3. Alterar posição de ponto.

Consiste em alterar a posição de um ponto amostral dentro da célula do grid, sem modificar a sua codificação de intersecção de linha e coluna.

A Figura 15 ilustra esta operação sobre o ponto 002005, a partir da definição da operação, clicando-se em qualquer posição da célula (X), sendo que são mostradas as coordenadas UTM do ponto clicado e sua identificação.

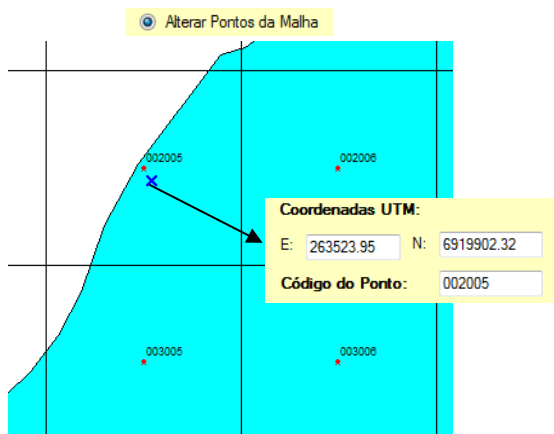


Figura 15. Ponto com a posição alterada.

Após concluir as alterações e desativada a função, a nova posição dos pontos pode ser visualizada a partir da reestruturação da malha nos parâmetros anteriormente definidos desmarcando a opção <Gerar pontos na malha> e na sequência "plotando" os pontos a partir da função de identificação conforme visto na Figura 16.



Figura 16. Pontos de amostragem com posição redefinida.

4. Acrescentar ponto a malha.

Consiste em acrescentar novos pontos a malha previamente estruturada, em qualquer posição, a partir de digitação direta no quadro de desenho, sendo que o identificador destes pontos é a sua sequência numérica de digitação.

Na Figura 17 é demonstrada esta sequência com a criação de um novo ponto amostral, a partir da definição da operação.

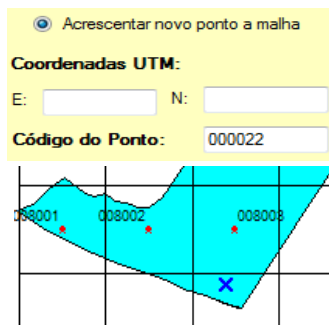


Figura 17. Ponto acrescentado na malha.

Após acrescentar os novos pontos desejados, ter desativado a função, o procedimento de visualização assemelha-se ao explanado no item anterior.

Observa-se que os novos pontos acrescentados tem codificação numérica diferente dos pontos da malha original.

Após concluir esse processo de edição a malha de amostragem deve ser salva como um arquivo vetorial mantendo a condição de estruturada.

c) Função: Sobrepor arquivos

No quadro de desenho onde esta estruturada a malha de amostragem com suas células e pontos é possível sobrepor entidades gráficas de polígonos, linhas ou pontos armazenadas em arquivos vetoriais de formato VET, GeoTXT ou SHP. A Figura 18 mostra o quadro de seleção e a Figura 19 ilustra uma sobreposição definindo o roteiro entre a sequencia numérica dos pontos.

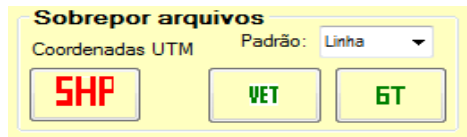


Figura 18. Sobreposição de arquivo vetorial, sobre a malha de amostragem.

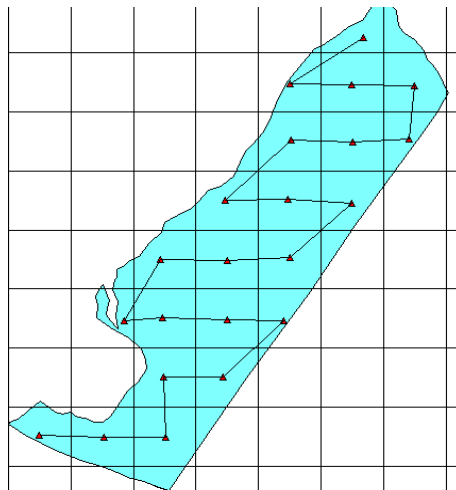


Figura 19. Roteiro de deslocamento entre os pontos de amostragem

O arquivo sobreposto na figura anterior refere-se ao exemplo do item 2 que abordou a digitação de pontos amostrais na malha, enquanto que a Figura 20 mostra o roteiro de deslocamento formado por um arquivo de pontos amostrais salvos sem qualquer edição, seguindo a ordem numérica de sua estruturação original.

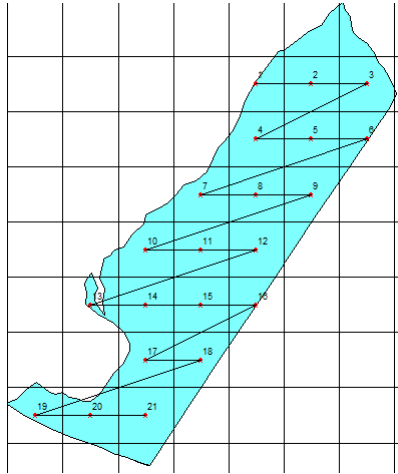


Figura 20. Roteiro de Deslocamento entre os pontos amostrais sem edição.

2.3.4 Opções de Impressão e Relatórios.

Na rotina de edição pode ser impresso o croqui da visualização apresentada no quadro de desenho, a partir do botão <Imprimir>, bem como a emissão de um relatório onde constam dados identificadores do talhão e a relação dos pontos amostrais, com seus códigos e coordenadas Lat., Long. e UTM.

O relatório pode ser impresso ou salvo em vários formatos de arquivos:

PDF, HTML, XLS, RTF.

A Figura 21 apresenta o quadro de impressão com a visualização da malha de amostragem e a Figura 22 apresenta o relatório desta mesma malha.

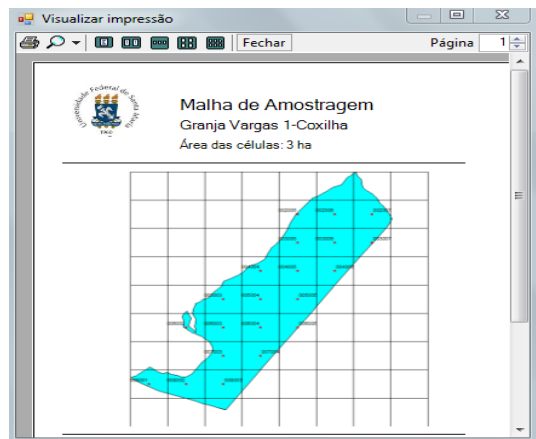


Figura 21. Croqui da Malha de Amostragem.

CR CAMPEIRO 7
AGRICULTURA DE PRECISÃO

Malha de Amostragem
Malha Retangular
Malha Estruturada - Pontos gerados na malha
Produtor: Anselmo Rudinei Vargas
Fazenda: Granja Vargas 1
Talhão: Coxilha

Tamanho do Grid: 3 hectares

Número-Código	E (m)	N (m)	Longitude	Latitude
001 - 002005	263517.56	6919914.00	53°24'03.21''	27°49'28.55''
002 - 002006	263690.78	6919914.00	53°23'56.89''	27°49'28.66''
003 - 002007	263864.00	6919914.00	53°23'50.56''	27°49'28.77''
004 - 003005	263517.56	6919741.00	53°24'03.34''	27°49'34.16''
005 - 003006	263690.78	6919741.00	53°23'57.16''	27°49'34.27''
006 - 003007	263864.00	6919741.00	53°23'50.68''	27°49'34.38''
007 - 004004	263344.38	6919567.50	53°24'09.79''	27°49'39.69''
008 - 004005	263517.56	6919567.50	53°24'03.46''	27°49'39.80''
009 - 004006	263690.78	6919567.50	53°23'57.14''	27°49'39.91''

Figura 22. Relatório dos pontos de amostragem.

2.3.5 Salvar a Malha de Amostragem – Arquivo Vetorial

Os componentes da malha de amostragem, grade de células e conjunto de pontos, podem ser salvos em arquivos vetoriais de diferentes formatos para uso em operações seguintes no próprio programa ou por outros softwares de geoprocessamento e de agricultura de precisão.

A Figura 23 mostra essas opções de arquivos, bem como os procedimentos que devem ser realizados antes de selecionar e gravar o arquivo de dados.

Salvar Malha de Amostragem

Padrão:
 Estruturada Digitação de pontos

Identificação:
 Identificador dos pontos: Código Número

Entidade:
 Pontos Pontos e Malha Malha

SHP VET ET GPX

Figura 23. Salvar a Malha de Amostragem.

Os procedimentos que devem ser realizados são os seguintes:

a) Padrão da Malha:

⇒ Estruturada – Malha estruturada na rotina sem edição ou com a edição simples de modificação de posição de ponto ou de acréscimo de pontos na mesma.

⇒ Digitação da Malha – Quando marca-se essa opção na edição <Roteiro de Amostragem> e for vetorizado a sequência de pontos no quadro de desenho.

b) Identificação:

⇒ Definir o código do ponto no arquivo, se é o número sequencial ou a codificação de intersecção de linha e coluna.

c) Entidade que será armazenada no arquivo.

⇒ Pontos – Somente os pontos de amostragem serão salvos

⇒ Pontos e Malha – Serão gerados dois arquivos, um com os pontos e outro com a malha de células

⇒ Malha – Salva-se o arquivo com a malha de células sem os pontos de amostragem.

Os tipos de arquivos vetoriais que podem ser salvos são:

⇒ SHP – Shapefiles (padrão do Arc View). Podem ser lidos em qualquer software de geoprocessamento. Registram tanto o arquivo de células (polígonos) como de pontos.

⇒ KML – Padrão do Google Earth. Podem ser lidos em qualquer software de geoprocessamento. Registram tanto o arquivo de células (polígonos) como o de pontos de amostragem. Além disso, abrem automaticamente o processo de visualização dos arquivos sobre o Google Earth (Figura 24)

⇒ VET – Padrão do CR Campeiro. Salvam somente o arquivo de pontos de amostragem em coordenadas UTM.

⇒ TXT – Padrão do CR Campeiro. Podem ser abertos em editores de texto, planilhas e softwares com interface de leitura de arquivos ASCII e registram unicamente os pontos de amostragem.

⇒ GPX – Padrão de armazenamento XML para uso em aparelhos GPS com a finalidade de navegação no processo de localização dos pontos a campo, e registram unicamente os pontos de amostragem.

Os arquivos SHP, KML e GPX são salvos com as coordenadas dos pontos e das células em formato de graus decimais.



Figura 24. Sobreposição de malha e pontos – Arquivo KML.

2.3.6 Salvar a Malha de Amostragem – Arquivo de Imagem

O quadro de desenho pode ser salvo como imagem digital georreferenciada para uso em outros aplicativos e em funções de geoprocessamento do programa. O acesso a essa função dá-se a partir do menu principal do formulário na opção <Arquivo> conforme pode ser visto na Figura 25.

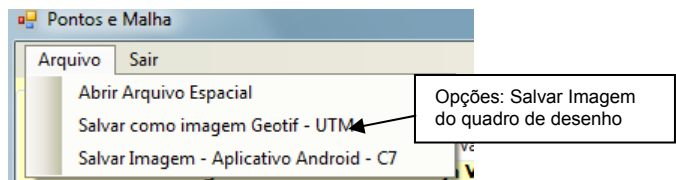


Figura 25. Opções do Menu <Arquivo> para salvar imagens digitais.

A opção <Imagem Geotiff-UTM> salva o quadro de desenho como uma imagem digital em formato TIFF e conjuntamente um arquivo TFW com as coor-

denadas de georreferência dessa imagem em UTM. A Figura 26 ilustra a estrutura de dados em um arquivo TFW.

Tamanho do Pixel em X =>	2.78876612903224
Ângulo de Rotação =>	0
Distância de Translação =>	0
Tamanho do Pixel em Y =>	-2.78876612903178
Coordenada E do Canto Superior Esquerdo =>	262317.271717742
Coordenada N do Canto Superior Direito =>	6920817.74441129

Figura 26. Conteúdo de arquivo TFW de georreferência de imagem geotiff.

Igualmente salvo no banco de dados PONTOS.MDB na tabela PT_APOIO a georreferencia da imagem digital no padrão denominado de SITER, cujos detalhes podem ser obtidos junto ao material do Curso de Geoprocessamento do CR Campeiro. A Figura 27 mostra a linha do registro da georreferencia no banco de dados do MS ACCESS, e esta operação é identificada com o nome pelo qual a imagem foi salva.

CARTA	E1	N1	E2	N2	E3	N3	E4	N4		
grademalha.tif	262317.27172	6920817.7444	263714.44355	6919420.5726	263714.44355	6919420.5726	262317.27172	262317.27172		
PIX1	PIX2	PIX3	PIX4	PY1	PY2	PY3	PY4	DATAUM	MC	
0	0	499	499	0	499	499	0	WG504	51	
LAT1	LON1	LAT2	LON2	LAT3	LON3	LAT4	LON4	RES_LON	RES_LAT	UTM
-27.81623428	-53.41289104	-27.82908325	-53.39899463	-27.81650699	-53.39868969	-27.82886176	-53.41314209	2.7887661290	-2.788766129	

Figura 27. Estrutura de dados de registro de georreferencia SITER

As Figuras 28 e 29 exemplificam empregos dessas imagens em outras funções do CR Campeiro. O primeiro exemplo abre a imagem geotiff na função de espacialização de mapas, shapex e imagens no sistema de geoprocessamento sobre o cadastro espacial da propriedade. No caso a configuração da espacialização esta setada para UTM em razão das coordenadas da imagem georreferenciada.

O segundo exemplo mostra a projeção da imagem da malha de amostragem sobre o Google Earth, utilizando a georreferencia SITER. Em alguns casos devido às diferenças na precisão do Google Earth e da fonte de dados do arquivo do Cadastro Espacial, podem ser observadas distorções nessa projeção.

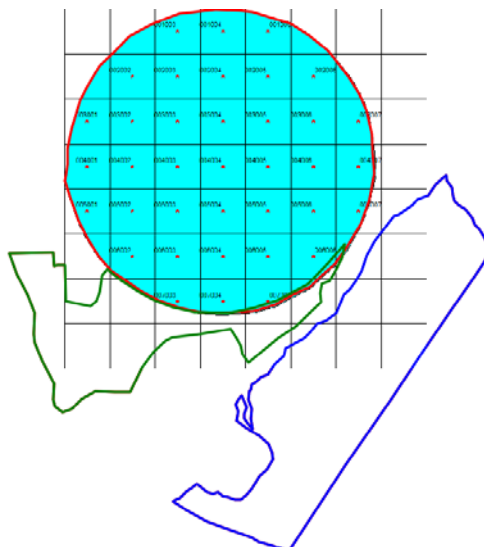


Figura 28. Sobreposição no Cadastro Espacial - Geoprocessamento.

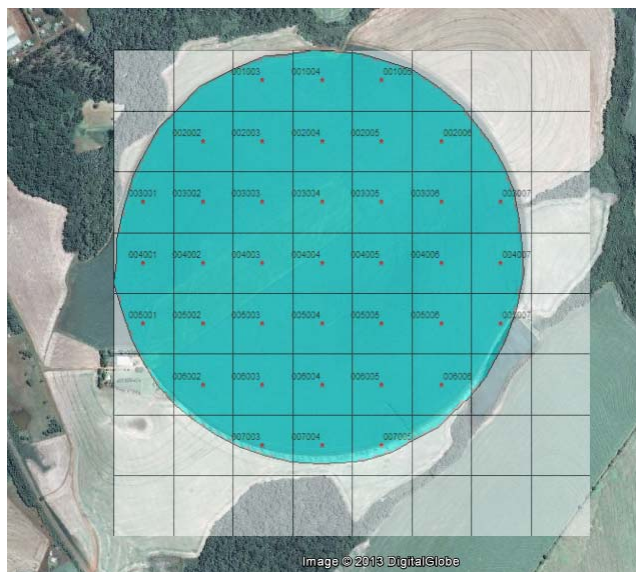


Figura 29. Sobreposição como imagem no Google Earth.

A opção <Imagem Android> salva o quadro de desenho em uma imagem de formato GIF, com um arquivo de georreferencia que contem as coordenadas geográficas dos quatro cantos da imagem. Sendo que este arquivo é de formato texto (TXT) e deve estar localizado na pasta \campeiro7\imagens na estrutura do cartão SD do Tablet ou Smartphone, no qual esta instalado o aplicativo Android C7 – Mapa Geo.

A Figura 30 mostra a disposição da georreferencia no arquivo texto com as coordenadas expressas em graus decimais.

-27.8221050936654	,	-53.4099686777497
-27.8353443268209	,	-53.410261288589
-27.8356037294819	,	-53.3953681494877
-27.8223643518408	,	-53.3950773424793

Figura 30. Georreferencia de imagem GIF para aplicativo C7.

As imagens quando forem salvas com o objetivo de sobreposição no Google Earth ou para serem abertas em Aplicativo da série C7, deverão obrigatoriamente estarem georreferenciadas em relação ao Datum WGS84.

2.3.7 Estruturar Malha de Amostragem com arquivo vetorial

Nos itens anteriores foram exemplificados procedimentos de estruturação, edição e registro de malhas cuja definição está em função do Cadastro Espacial da propriedade a partir da seleção de um ou mais talhões cujas coordenadas estão na base de dados do sistema.

Independente do cadastro espacial, o sistema pode estruturar uma malha de amostragem a partir de um polígono, cujas coordenadas estejam armazenadas em um arquivo vetorial de formato VET ou GeoTXT, sendo que nesse caso, ao abrir um desses arquivos deverá ser informado o Datum, ao qual estão relacionadas as coordenadas UTM, e no caso específico de arquivo VET deverá ser informado também o Meridiano Central do Fuso.

Uma vez aberto um arquivo vetorial, especializado o mesmo no quadro de desenho e definidas as configurações geográficas, todas as demais operações e funções descritas nos itens anteriores podem ser executadas na estruturação de malha de amostragem.

A função de abrir um arquivo vetorial é realizada a partir do menu principal do formulário na opção <Arquivos> (Figura 31).

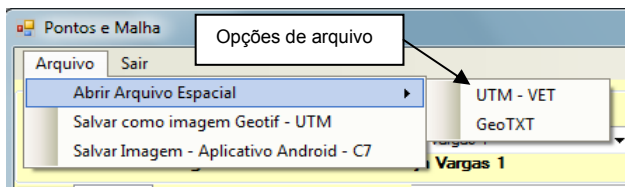


Figura 31. Abrir arquivo de coordenadas geográficas VET/TXT.

A Figura 32 mostra o quadro de desenho a partir da abertura de um arquivo vetorial independente do cadastro espacial, com o objetivo de estruturar uma malha de amostragem, sendo que os dados de coordenadas do canto esquerdo superior e direito inferior são calculados com base nos limites do polígono importado.

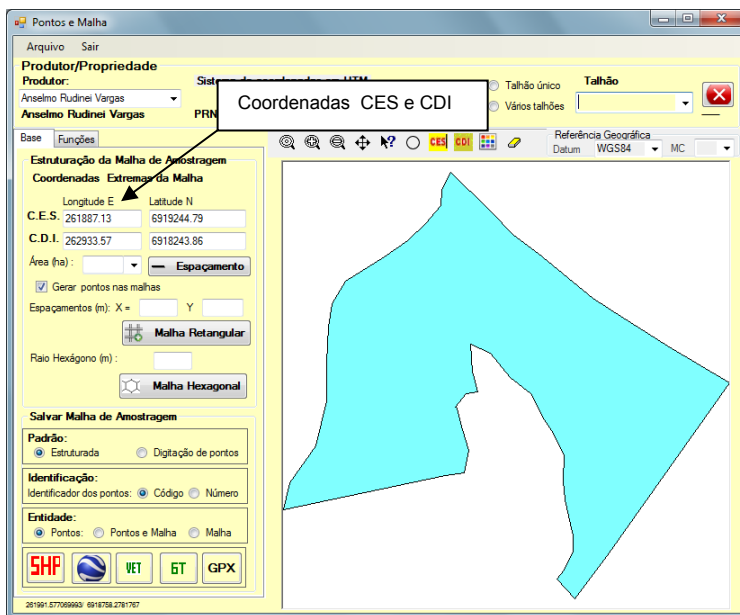


Figura 32. Arquivo vetorial aberto.

2.3.8 Estruturar Malha de Amostragem com a vários talhões

A Figura 33 apresenta uma malha de amostragem comum a vários talhões da propriedade.

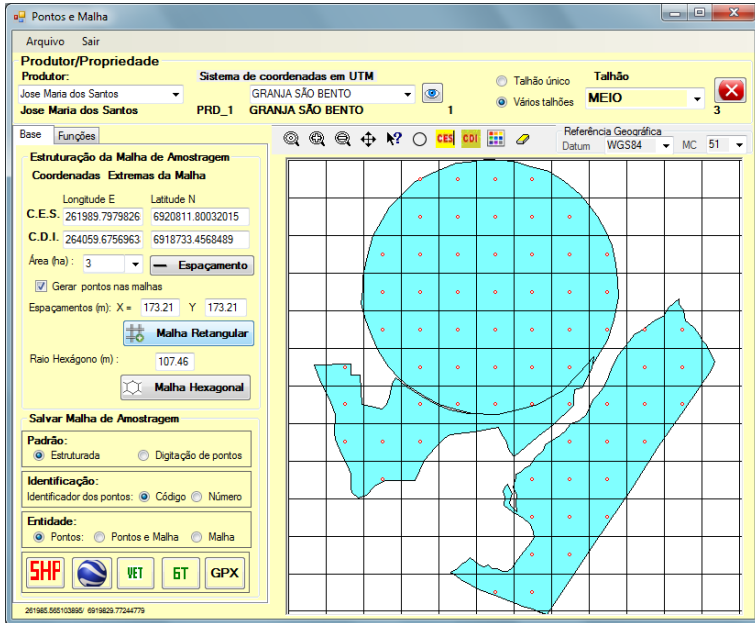


Figura 33. Malha de Amostragem comum a vários talhões.

O procedimento de estruturação tem os seguintes passos:

- a) Marcar a opção <Vários talhões>
- b) Selecionar e espacializar no quadro de desenho os talhões desejados.
- c) Definir as coordenadas extremas da área de trabalho diretamente sobre o quadro de desenho, a partir dos botões <CES> e <CDI> que estão localizados na barra de ferramentas superior ao quadro de desenho.
- d) Definir os demais parâmetros da estruturação da malha de amostragem conjunta.

A Figura 34 mostra a locação da malha de amostragem no cadastro espacial da propriedade. Os arquivos foram salvos como shapefiles, tanto o da estrutura das células como o dos pontos de amostragem, e a Figura 25 mostra essa locação sobre o Google Earth.

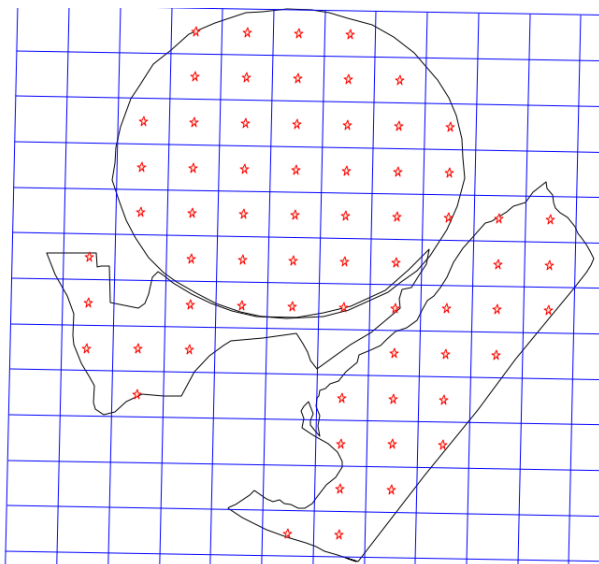


Figura 34. Espacialização dos shapes de células e pontos de amostragem.

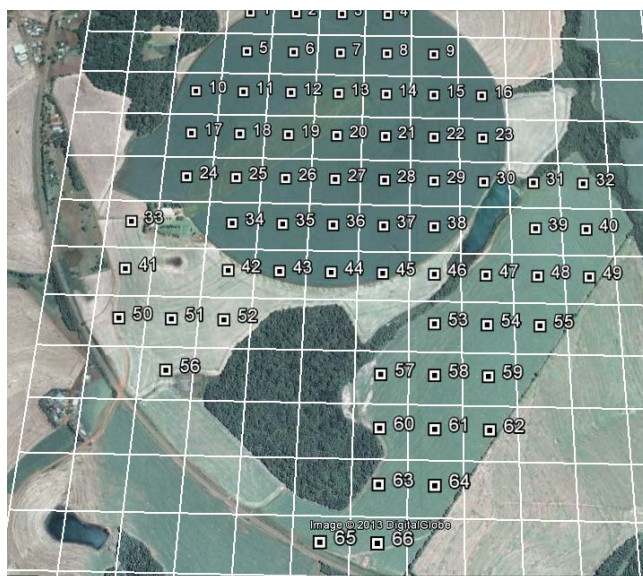


Figura 35. Localização da malha de amostragem conjunta sobre o GE.

3 Projeto de Agricultura de Precisão

3.1 Conceituação de Projeto de Agricultura de Precisão

O termo “Projeto de Agricultura de Precisão” (PAP) define, no Sistema Campeiro, um conjunto de dados georreferenciados com um atributo quantitativo, sendo que este atributo apresenta variabilidade espacial em uma determinada área, como por exemplo, teor de fósforo, densidade do solo, produtividade de culturas, etc.

Esse conjunto de dados georreferenciados vem a ser o conjunto de pontos de uma malha de amostragem de solos, por exemplo.

Em síntese um PAP consiste em identificar, codificar e georreferenciar uma determinada variável de solo ou planta no espaço geográfico de uma unidade de manejo (talhão).

Os dados de caracterização de um Projeto de Agricultura de Precisão são:

- Nome do Projeto;
- Código do Produtor;
- Número da Propriedade (Fazenda/Granja);
- Número do Talhão;
- Variável (ou Tema) referente ao atributo;
- Coordenadas UTM dos pontos amostrais (E,N);
- Coordenada altimétrica (Z);
- Valor do atributo;
- Ano de referencia do projeto;
- Camada.

A estruturação de um PAP constitui o primeiro passo de operação com as funções de Agricultura de Precisão, pois a partir dele é que são gerados os mapas de fertilidade, produtividade, aplicação e de zonas de manejo, cruzamentos, análises estatísticas, geoestatísticas, etc.

Um PAP é armazenado na tabela *Projeto_ap*, do banco de dados *modelos_ap.mdb*, a qual pode ser recuperada, para edição na função de consulta a bancos de dados do próprio programa, ou então em um Sistema Gerenciador de Banco de Dados, como por exemplo o Access.

A Figura 36 apresenta a estrutura de dados de um Projeto de Agricultura de Precisão na tabela do banco de dados, sendo que cada registro consiste nos dados de um ponto amostral.

PROJETO	CODPRODU	FAZENDA	NT	VARIÁVEL	E	N	Z	VALOR	ANO	CAMADA
CTC_PS10	03		1	7 CTC_10	230414.6	6908667.55	0	14.2	2010	0
CTC_PS10	03		1	7 CTC_10	230414.6	6908567.55	0	12.6	2010	0
CTC_PS10	03		1	7 CTC_10	230314.6	6908567.55	0	15.8	2010	0
CTC_PS10	03		1	7 CTC_10	230214.6	6908567.55	0	14.1	2010	0
CTC_PS10	03		1	7 CTC_10	230114.6	6908567.55	0	17.4	2010	0
CTC_PS10	03		1	7 CTC_10	230114.6	6908667.55	0	14.8	2010	0
CTC_PS10	03		1	7 CTC_10	230014.6	6908567.55	0	13.3	2010	0
CTC_PS10	03		1	7 CTC_10	230214.6	6908667.55	0	14.9	2010	0
CTC_PS10	03		1	7 CTC_10	230514.6	6908667.55	0	14	2010	0
CTC_PS10	03		1	7 CTC_10	230314.6	6908667.55	0	14.9	2010	0
CTC_PS10	03		1	7 CTC_10	230514.6	6908567.55	0	14	2010	0
CTC_PS10	03		1	7 CTC_10	230114.6	6908367.55	0	12.9	2010	0
CTC_PS10	03		1	7 CTC_10	229914.6	6908567.55	0	15.7	2010	0
CTC_PS10	03		1	7 CTC_10	229914.6	6908467.55	0	14.2	2010	0
CTC_PS10	03		1	7 CTC_10	230014.6	6908467.55	0	15.4	2010	0
CTC_PS10	03		1	7 CTC_10	230114.6	6908467.55	0	11.7	2010	0
CTC_PS10	03		1	7 CTC_10	230214.6	6908467.55	0	14.2	2010	0
CTC_PS10	03		1	7 CTC_10	230314.6	6908467.55	0	15.7	2010	0
CTC_PS10	03		1	7 CTC_10	230414.6	6908467.55	0	14.2	2010	0
CTC_PS10	03		1	7 CTC_10	230014.6	6908367.55	0	18.9	2010	0
CTC_PS10	03		1	7 CTC_10	230214.6	6908367.55	0	15.6	2010	0
CTC_PS10	03		1	7 CTC_10	230014.6	6908267.55	0	12.9	2010	0

Figura 36. Estrutura de Projeto de Agricultura de Precisão.

Na amostragem de solos para fins de elaboração de mapas de fertilidades e outros, são coletadas amostras com finalidades de análise e interpretação de diversas variáveis. Cada uma dessas variáveis deverá ser estruturada em um PAP independente para os procedimentos posteriores de geração de mapas e outras finalidades no programa.

Por exemplo, os valores de potássio obtidos na análise dos pontos do conjunto amostra deverão ser associados às coordenadas UTM desses pontos e constituir um PAP, e da mesma forma os valores de magnésio, fósforo, argila e outros, como apresentado na Figura 37.

Ponto	E	N	potassio
1	212299.15	6810769.73	99
2	212399.15	6810769.73	113
3	212499.15	6810769.74	89
4	212599.15	6810769.73	130
5	212699.15	6810769.74	175

Ponto	E	N	Magnésio
1	212299.15	6810769.73	2.7
2	212399.15	6810769.73	2.2
3	212499.15	6810769.74	2.5
4	212599.15	6810769.73	2.3
5	212699.15	6810769.74	3

Figura 37. Dados georreferenciados de Projeto de AP.

As Figuras 38 e 39 apresentam o formulário de introdução de dados e geração de Projetos de AP.

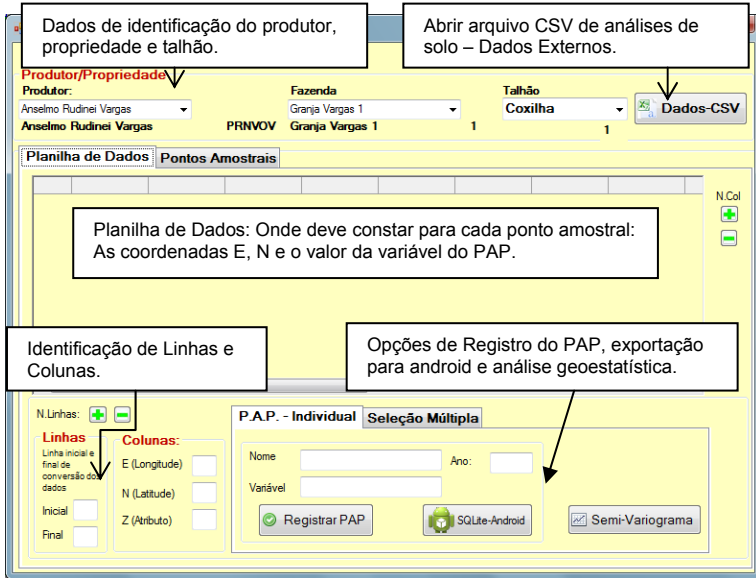


Figura 38. Seleção de talhão e guia Planilha de Dados.



Figura 39. Guia de pontos amostrais.

Na sequência serão exemplificados passo a passo os processos de geração dos Projetos de Agricultura de Precisão no formulário apresentado nas figuras anteriores.

3.2 Estruturar Projeto de Agricultura de Precisão.

A indexação dos dados em um PAP pode ser feita através da digitação de todos os dados (coordenadas e valor) na planilha, ou através da recuperação do arquivo de coordenadas dos pontos amostrais com a digitação dos valores do atributo, ou ainda, por recuperação de um arquivo CSV com resultados de análise de solo e associação com o arquivo de coordenadas desses pontos amostrais.

3.2.1 Processo Inicial

O procedimento básico se inicia com a recuperação dos dados de identificação do produtor e da propriedade e com a seleção do talhão, em relação aos quais pertençam os dados da variável do PAP.

Ao selecionar o talhão, apresenta-se na guia <Pontos Amostrais> o desenho do mesmo, o qual portanto deve estar previamente cadastrado na base espacial da propriedade (Figura 40).

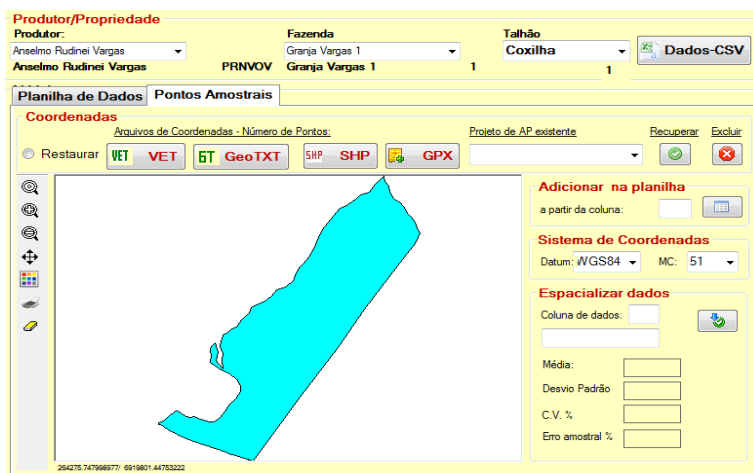


Figura 40. Seleção de talhão.

Na sequência devem ser digitados na planilha de dados ou recuperados de arquivo as coordenadas UTM dos pontos que constituem o conjunto amostral

e a cada ponto deve ser associado o valor da variável de solo ou planta objeto do Projeto de Agricultura de Precisão.

No caso de digitação manual ponto a ponto deve ser definido o número de linhas da planilha e informado, em quais linhas tem início e fim o conjunto de dados. Igualmente deve ser informado em quais colunas estão relacionados os valores de coordenadas (E e N) e do atributo (Z), conforme pode ser exemplificado na Figura 41.

Esses dados de informação de número de colunas são de preenchimento obrigatório, antes de registrar o projeto.

The image shows a software interface for data entry. At the top, there are two boxes: 'Coordenadas E, N' and 'Valor do atributo (Z)'. Below them is a spreadsheet titled 'Planilha de Dados' with a sub-header 'Pontos Amostrais'. The spreadsheet has 12 rows and 5 columns. The first column contains row numbers (1-12). The second and third columns contain coordinate values (Easting and Northing). The fourth column contains attribute values (Z). The fifth column contains a numerical value. To the right of the spreadsheet is a yellow dialog box with the following fields:

- N. Linhas: + -
- Linhas: Linha inicial e final de conversão dos dados
- Inicial: 2
- Final: 20
- Colunas: E (Longitude) 2, N (Latitude) 3, Z (Atributo) 4

Arrows point from the dialog box fields to the corresponding parts of the spreadsheet. A box below the spreadsheet is labeled 'Linha inicial e final dos dados' and points to the 'Final' field in the dialog. Another box below is labeled 'Informação das colunas de E,N e Z. Obrigatório antes de registrar o projeto de AP' and points to the 'Colunas' section of the dialog.

Figura 41. Digitação de pontos amostrais (E, N, Z).

A identificação do projeto deve ser feita através de um código do nome da variável e do ano de referência para os dados do projeto, sendo que as informações de código de produtor, propriedade e do número do talhão são recuperadas automaticamente quando da seleção desses elementos no formulário (Figura 42).

Um cuidado que se deve ter, na identificação do PAP consiste em não registrar dois projetos com o mesmo nome, pois neste caso, o sistema não dife-

reenciará os mesmos, e irá considerá-los como parte integrante de um único projeto.

Não existe um limite para o número de PAPs, que podem ser registrados no sistema, sendo que existem funções para excluí-los da base de dados, no momento em que não haja mais previsão de sua utilização.

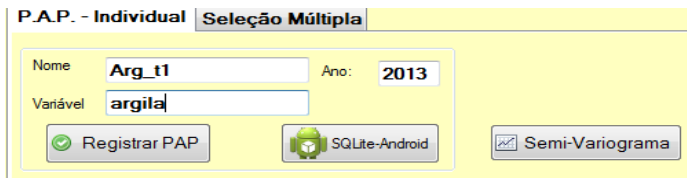


Figura 42. Identificação do Projeto.

Um projeto pode ser registrado de forma individual como mostrado na figura acima ou na forma de seleção múltipla com o registro de diversas variáveis associadas ao mesmo conjunto de coordenadas, cujo procedimento será exposto em item posterior neste capítulo, como também as funções de exportação dos dados do projeto para aplicativo Android do CR Campeiro e a análise geoestatística através do Semivariograma. Funções essas acessadas no quadro de registro do PAP.

3.2.2 Recuperação de arquivo de pontos

Os arquivos de pontos amostrais gerados na rotina de malha de amostragem e que serviram de base para o levantamento a campo, podem ser abertos e terem suas coordenadas relacionadas ponto a ponto na planilha de dados.

Esse procedimento é realizado na guia <Pontos Amostrais> posteriormente a seleção do talhão.

Os tipos de arquivos que podem ser abertos são:

- ⇒ VET – arquivo de pontos coordenadas UTM;
- ⇒ GeoTXT – arquivo de pontos;
- ⇒ SHP – arquivo de pontos;
- ⇒ GPX – arquivo de pontos.

Ao abrir o arquivo os pontos são apresentados sobre o desenho do talhão identificados com o seu número sequencial, sendo que o usuário deverá informar o número da coluna, a partir da qual serão lançadas as coordenadas E,N.

A Figura 43 apresenta o desenho dos pontos conjuntamente com a identificação do número da coluna de associação e a Figura 44 mostra a relação dos mesmos na planilha de dados.

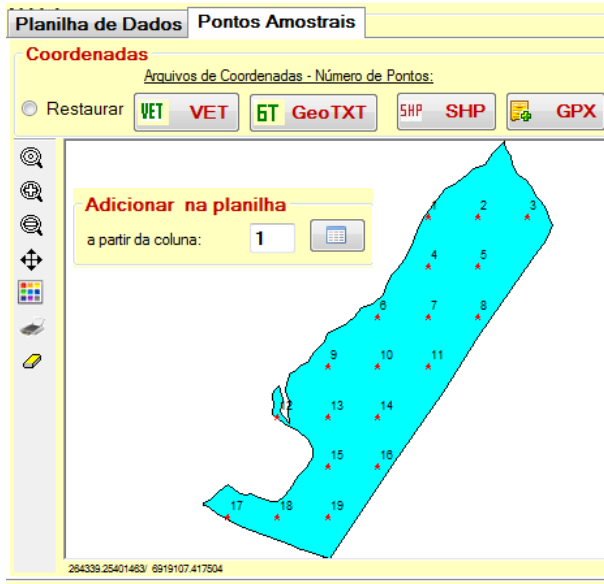


Figura 43. Pontos amostrais e identificação da coluna de associação na planilha.

Planilha de Dados		Pontos Amostrais	
E	N		
263522.75	6919912.50		
263697.13	6919912.50		
263871.47	6919912.50		
263522.75	6919738.00		
263697.13	6919738.00		
263348.38	6919563.50		
263522.75	6919563.50		
263697.13	6919563.50		
263174.03	6919389.50		
263348.38	6919389.50		

Figura 44. Relação das coordenadas do arquivo.

Essa associação pode ser em uma planilha já com dados preenchidos, como os de uma análise de solo, ou então em um planilha vazia, com o objetivo

de que o usuário faça a digitação dos dados de uma variável, conforme foi mostrado na Figura 41.

Além da possibilidade de abrir arquivos vetoriais de pontos e relacionar as coordenadas dos mesmos na planilha de dados, pode-se também recuperar as coordenadas de um projeto de AP do mesmo talhão que já tenha sido registrado e associar esses pontos a um novo projeto.

A metodologia de associação é basicamente a mesma descrita anteriormente no caso de arquivos de pontos.

O cuidado que o usuário deve ter em qualquer processo de associação de coordenadas ao atributo numérico de uma variável é o de estabelecer a correspondência correta entre os mesmos, pois uma indexação do valor de um ponto em outra posição espacial no talhão acarretará em uma sequência de erros no processo de interpolação o que ocasionará o comprometimento da fidedignidade do mapa final. A associação é um processo exclusivamente manual, portanto exige a atenção do usuário quando digitar o valor do atributo nos pontos amostrais.

O processo final da estruturação de um projeto é o seu registro no banco de dados, associado às informações cadastrais de produtor, propriedade e talhão.

3.3 Estruturação do PAP a partir de Dados Externos – Abrindo um arquivo CSV

Por dados externos, entende-se um conjunto de dados de análise de solo de um talhão, dispostos em um arquivo do tipo CSV (colunas separadas por vírgulas), onde cada coluna corresponde a análise de um elemento químico.

Este tipo de arquivo pode ser gerado ou convertido no ambiente do Excel a partir de planilhas de dados em formato XLS. Assim, o Sistema CR Campeiro não importa dados diretamente das planilhas XLS, mas importa os mesmos a partir de sua conversão para o formato CSV.

Com o incremento do número de amostras de solo submetidas à análises junto aos laboratórios com fins de uso na agricultura de precisão, estes tem disponibilizado para os clientes os resultados das mesmas em planilhas eletrônicas XLS além do tradicional laudo impresso. Como referido esta planilha uma vez aberta no Excel, poderá ser exportada em formato CSV a qual é carregada

pele CR Campeiro. A Figura 45 mostra a guia da Planilha de Dados preenchida pelo conteúdo de um arquivo CSV.

Produtor/Propriedade
Produtor: Anselmo Rudinei Vargas
Fazenda: Granja Vargas 1
Talhão: Coxilha

Dados-CSV

Planilha de Dados | **Pontos Amostrais**

Abrir o arquivo CSV

0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Protocolo	Amostra	pH #gua	pH CaCl2	M.O. dag/Kg	P mg/dm3	K mg/dm3	S mg/dm3
2	34279	1	5.4	5	3.6	4	125	98.8
3	34280	2	5.4	5	3.3	9.7	119	61.7
4	34281	3	5.4	5.1	3.4	4.1	99	70.7
5	34282	4	5.7	5.2	3.3	3.3	136	62.3
6	34283	5	5.5	5	3.4	4.3	131	67.8
7	34284	6	5.4	4.9	3.4	3.7	107	67.9
8	34285	7	5.5	5	3.7	3.4	124	85.6
9	34286	8	5.5	5.2	3.7	3.9	82	122.5
10	34287	9	5.6	5.2	3.7	6.2	125	82.9
11	34288	10	5.3	4.9	3.6	4.6	128	88.2

Figura 45. Arquivo de análise de solo aberto na planilha de dados.

O passo seguinte consiste em associar a cada ponto da planilha o seu correspondente posicionamento geográfico expresso pelas coordenadas UTM, que estão armazenadas em um arquivo vetorial salvo anteriormente quando da estruturação da malha de amostragem.

A Figura 46 mostra a locação dos pontos na planilha a partir da coluna informada previamente.

Planilha de Dados | **Pontos Amostrais**

0	25	26	27	28	29	30	31	32
1	Zn mg/dm3	Fe mg/dm3	Mn mg/dm3	Cu mg/dm3	Argila	E	N	
2	3.8	119	13.3	1	42	263522.75	6919912.50	
3	9	99	21.6	1.2	39	263697.13	6919912.50	
4	6.3	107	24.7	0.9	44	263871.47	6919912.50	
5	9.5	112	36.3	0.8	47	263522.75	6919738.00	
6	7.3	111	28.7	1	39	263697.13	6919738.00	
7	6.3	122	30	0.9	41	263348.38	6919563.50	
8	6.3	136	30.9	0.9	38	263522.75	6919563.50	
9	6.6	100	31.2	0.8	35	263697.13	6919563.50	
10	10.5	91	33.8	0.8	44	263174.03	6919389.50	
11	7	98	30.7	0.7	46	263348.38	6919389.50	

Linhas: Linha inicial e final de conversão dos dados: Inicial 2, Final 20

Colunas: E (Longitude) 30, N (Latitude) 31, Z (Atributo)

Colunas de E, N

Coordenadas UTM

Linha Inicia e Final dos dados

Figura 46. Associação de coordenadas a um conjunto de análises de solo.

Em síntese, os passos para gerar Projetos de AP a partir de arquivos de análise de solo, em formato CSV, são:

- a) Abrir o arquivo CSV
- b) Abrir o arquivo vetorial dos pontos amostrais
- c) Informar o número da coluna de associação das coordenadas
- d) Informar a linha inicial e a linha final dos dados na planilha
- e) Informar as colunas da coordenada E, e da coordenada N

O procedimento seguinte é o de gerar um PAP Individual.

- f) Informar o número da coluna de dados da variável
- g) Informar o nome (código) do projeto
- h) Identificar a variável
- i) Informar o ano de referência
- j) Registrar o Projeto na Base de dados

Outro procedimento para estruturar projetos é o da seleção múltipla que consiste em relacionar em uma planilha auxiliar, o número da coluna da planilha de dados, o nome do projeto e o nome da variável, e após efetuar o registro conjunto, sendo esse procedimento ilustrado na Figura 47.

Coluna	Nome do PAP	Variável
25	zn_t1	zinco
26	fe_t1	ferro
27	mn_t1	manganes
29	ar_t1	argila

Figura 47. Registro Múltiplo de Projetos.

3.4 Análise Estatística Descritiva – Dados CSV e de Projetos de AP

Uma das funções no formulário de estruturação de Projetos de Agricultura de Precisão é a de realização da análise estatística do conjunto de dados de uma variável, cujos valores associados aos pontos amostrais, estão ordenados por colunas na planilha de dados.

Esta análise consiste em calcular os seguintes elementos:

- a) Média amostral.

⇒ Média aritmética do conjunto de dados.

b) Desvio padrão amostral.

⇒ É uma medida de dispersão que estima a variabilidade dos dados em torno da média, sendo que o valor 0 indica variabilidade nula. A ordem de grandeza da variável é que define se um desvio é grande ou pequeno, e sendo assim uma forma de expressar a variabilidade dos dados tirando a influência dessa ordem de grandeza, é através do coeficiente de variação.

c) Coeficiente de Variação.

⇒ Este coeficiente é uma relação entre o desvio padrão e a média e pode ser expresso de forma percentual, sendo interpretado como a variabilidade dos dados em torno da média e assim quanto menor o CV mais homogêneo é o conjunto de dados. Normalmente considera-se um CV baixo quando for inferior a 25%.

d) Erro de amostragem.

⇒ O erro de amostragem é a diferença entre a estimativa da amostra e o parâmetro real da população. Esse erro é estabelecido a um nível de probabilidade de 95% e depende de dois fatores: a estimativa da variabilidade obtida na amostra e o próprio tamanho da amostra realizada.

Normalmente em levantamentos amostrais com erro inferior a 10% pode-se afirmar que o tamanho da amostragem foi suficiente para estimar os parâmetros de média e variância da população e portanto a amostra é representativa da população.

Quando o erro amostral for maior que um nível de aceitação, conclui-se que a amostra da população não foi representativa.

Em um levantamento amostral de solos para fins de mapeamentos de fertilidade, são obtidos conjuntos de dados de diversas variáveis que são independentes entre si, portanto tem comportamentos estatísticos diferentes, isto é, um conjunto de dados da variável Fósforo pode apresentar uma variabilidade (CV) maior que a variabilidade do conjunto de dados de Potássio, e assim uma amostra pode ser representativa para uma determinada variável e insuficiente para estimar com fidedignidade outra.

Em muitos casos de levantamentos amostrais são realizados inventários preliminares com objetivo de obter uma estimativa da variância e definir assim o tamanho da amostra final. Entretanto esse procedimento em levantamento amostral de solo que congrega variáveis diversas é praticamente inviável e nesse caso se recomenda que o usuário dimensione as grades de amostragem com números de pontos superiores a 30 independente do tamanho da área. Esse não é um impeditivo de utilizar amostras menores, mas o usuário deverá ter presente

que para determinadas variáveis o erro de amostragem poderá ser maior que um nível aceitável de 10% por exemplo.

Esta análise estatística pode ser feita a partir de dados digitados, dados abertos de arquivo ou então de um Projeto de AP já registrado na base de dados.

Esse procedimento deve ser feito na guia <Pontos Amostrais> a partir da informação no número da coluna de dados na caixa de texto do quadro <Espacializar Dados>. Ao processar o cálculo da análise estatística são apresentadas as estimativas de média, desvio padrão amostral, coeficiente de variação e erro de amostragem, e nos pontos de amostragem locados sobre o desenho do talhão é mostrado o valor da variável em cada ponto.

A Figura 48 mostra a espacialização dos dados de uma coluna da planilha no quadro de desenho e o quadro referente a análise estatística dos dados.

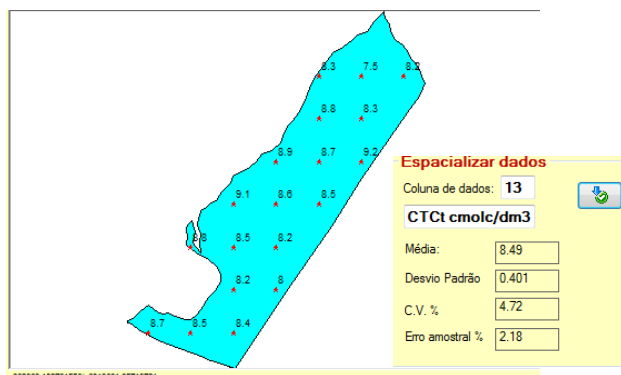


Figura 48. Análise Estatística.

3.5 Recuperar PAP existente

Esta função consiste em recuperar um Projeto de Agricultura de Precisão do talhão que tenha sido registrado na tabela projeto_ap do banco de dados modelos_ap.mdb com as seguintes finalidades:

a) Recuperar a posição planimétrica dos pontos amostrais e dispô-los na planilha de dados para indexação de novos Projetos de AP. Nesse caso deverá ser informado a partir de qual coluna.

b) Recuperar os dados do Projeto de AP para processar operações de edição de dados. Nesse caso a planilha de dados deverá estar vazia.

c) Excluir o Projeto de AP. Esta exclusão é de caráter irreversível.

A Figura 49 ilustra o processo de recuperação de Projeto de AP, a locação dos pontos com valores no mapa e a disposição dos mesmos na planilha de dados.

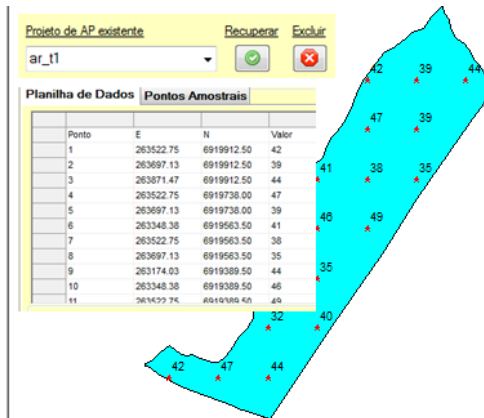


Figura 49. Recuperação de Projeto de AP.

3.6 Salvar/Exportar – Dados

A planilha de dados no seu conjunto total ou parcial pode ser salva em diversos formatos de arquivo para serem abertos em outras rotinas do programa ou então em outros programas como Excel, SIGs, Editores de Texto, etc. As opções são as seguintes:

a) A planilha de dados com a associação de coordenadas dos pontos pode ser salva em um arquivo de formato CSV, para que em próxima recuperação já conste na planilha a posição planimétrica dos pontos amostrais, sem haver a necessidade de recuperar a mesma a partir de arquivos vetoriais. Esta opção é acessada no menu <Arquivo>

b) Outra opção consiste em salvar num arquivo shape de pontos o conjunto de dados de uma variável, a partir da informação da coluna que contenha os valores da mesma, e das colunas da posição planimétrica. As coordenadas

UTM dos pontos são convertidas para graus geográficos decimais, quando do processo de registro no arquivo.

c) No mesmo quadro em que é definido e registrado um Projeto de AP, há uma opção similar que permite exportar a estrutura do Projeto de AP em um banco de dados SQLite para uso em aplicativos Android da Série C7.

O banco de dados é o Campo_7.db3 localizado na pasta c:\campeiro7\dados.

O SQLite é uma biblioteca em linguagem C que implementa um banco de dados SQL embutido, sendo muito empregado em dispositivos móveis pela sua simplicidade, capacidade de armazenamento, segurança de transações, um único arquivo e sem dependências externas entre outros motivos.

No dispositivo Android (Tablet ou Smartphone) esse banco de dados deve ser copiado para a pasta /campeiro/bd, para poder ser utilizado pelos aplicativos C7 InterPAP e C7 MapaGeo.

A Figura 50 mostra a tela de dados do Projeto AP no banco de dados campo_7.db3, que pode ser aberto no próprio sistema desktop nas funções de edição de bancos de dados geográficos.

Edição de Banco de Dados Geográficos

c:\campeiro7\dados

Tabela selecionada: elementos

campo_7.db3

Executar

id	projeto id	nome	latitude	longitude	altitude	qualitativo	quantitativo
103	5	argila1	-27.8261862368404	-53.4008765093261	0	SI	47
104	5	argila1	-27.8262170075077	-53.399107401602	0	SI	39
105	5	argila1	-27.8277293559676	-53.402680290242	0	SI	41
106	5	argila1	-27.8277601513124	-53.400911159844	0	SI	38
107	5	argila1	-27.827790924018	-53.399142026647	0	SI	35
108	5	argila1	-27.8292679437311	-53.4044837056136	0	SI	44
109	5	argila1	-27.829290758225	-53.4027148636673	0	SI	46
110	5	argila1	-27.8293295556037	-53.4009457138876	0	SI	49
111	5	argila1	-27.8308110086275	-53.4062875883606	0	SI	42
112	5	argila1	-27.8308418533259	-53.4045184126783	0	SI	36
113	5	argila1	-27.8308726698608	-53.40274955126	0	SI	35
114	5	argila1	-27.8324157625218	-53.4045531225504	0	SI	32
115	5	argila1	-27.8324465810929	-53.403784235658	0	SI	40

Sistema de Edição de Bancos de Dados Geográficos

Processar Alterações

Figura 50. Tabela com os dados do PAP – BD SQLite.

3.7 Análise Geoestatística

Um Projeto de Agricultura de Precisão, como definido no Sistema CR Campeiro é um conjunto de dados de uma variável contínua cujos pontos amos-

trais encontram-se georreferenciados dentro de um espaço de referência que a vem a ser uma unidade de produção.

A análise geoestatística fornece um conjunto de elementos para interpretar a aleatoriedade dos dados da variável considerando que os mesmos tenham uma vinculação entre si no espaço de referência, definindo assim que os dados dessa variável apresentem continuidade espacial o que estabelece uma função de correlação espacial.

O uso do 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 através dessa ferramenta.

A Análise do Semivariograma dos dados de um Projeto de AP no Sistema CR Campeiro pode ser feita a qualquer tempo a partir da recuperação do mesmo no formulário.

As seguintes informações básicas sobre o cálculo do semivariograma devem ser consideradas pelo usuário:

1. Algoritmo computacional de cálculo dos parâmetros do variograma (efeito pepita, patamar e alcance) e ajustes a modelos, desenvolvido pelo Prof. James R. Carr da Universidade de Nevada, e publicado em *Computers & Geosciences* da International Association for Mathematical Geosciences - <http://iamg.org>.
2. Algoritmo baseado nas equações de Matheron(1963) para cálculo de variogramas.
3. Pode ser aplicável a pontos regularmente espaçados - Grade de Amostragem.
4. Cálculo do Semivariograma em duas dimensões espaciais (X ,Y).
5. Semivariograma de uma única variável aninhada.
6. Semivariograma Isotrópico: Anisotropia = 0.
7. Semivariograma sem análise exploratória preliminar.
8. Ajuste a modelos após cálculo dos parâmetros do Semivariograma.
9. Pesquisa até 10 pontos próximos em todas as direções.
10. Distância (lag). Utilizar \geq ao espaçamento entre pontos da grade de amostragem.
11. Padrão: Omnidirecional: Sentido 0° e Tolerância 90°.
12. Recomendável para o cálculo com um mínimo de 30 pontos amostrais.

Para calcular o semivariograma o passo a passo é o seguinte:

a) Selecionar produtor e propriedade e talhão. Ao selecionar o talhão são apresentados no combo todos os Projetos de AP relacionados a este talhão.

b) Selecionar o Projeto de AP.

c) Informar as condições pré-definidas do semivariograma:

⇒ Direção =>0

⇒ Tolerância => 90

⇒ Distância (lag) => Informar a distância entre pontos amostrais do grid.

⇒ Modelo matemático de ajuste: Esférico, Exponencial, Gaussiano.

d) Calcular

⇒ Resultados Descritivos:

⇒ Efeito Pepita: Mostra a descontinuidade do semivariograma para as distâncias menores entre as amostras o que vem a caracterizar a ausência de correlação na escala do menor valor espaçamento entre as amostras. Em tese o valor do efeito pepita deveria ser zero, mas a diferença observada é atribuída a erros de amostragem, sendo esse erro principalmente decorrente da variabilidade natural da variável.

⇒ Patamar: Ponto a partir do qual não existe mais dependência espacial entre as amostras. Nesse ponto o variograma estabiliza o que caracteriza a independência das amostras.

⇒ Alcance: Distância dentro da qual as amostras estão correlacionadas espacialmente e a partir dela são independentes. Esse ponto corresponde quando a covariância se anula e o semivariograma atinge o patamar. Esse valor deve ser considerado quando da estruturação de Modelos Digitais ou mapas de representação espacial da variabilidade da variável, na definição do raio de pesquisa para a interpolação de pontos próximos aos pontos amostrais.

⇒ Grau de casualidade: Avalia o componente aleatório segundo a seguinte classificação:

- $GC < 0,15$ – Componente aleatório pouco significativo

- $0,15 < GC < 0,30$ – Componente aleatória pouco significativa

- $GC > 30$ – Componente aleatória muito significativa

⇒ Grau de dependência: Estabelecida em função do grau de casualidade nos tres casos acima:

- Forte, Moderada ou Fraca dependência espacial.

A Figura 51 apresenta o formulário de cálculo do semivariograma com as informações necessárias de direção, tolerância, passo, modelo de ajuste e seleção de projeto, bem os resultados desse cálculo, o efeito pepita, patamar, alcance, dependência espacial e validação cruzada.

⇒ Resultados Gráficos

⇒ Gráfico do Semivariograma.

A Figura 52 apresenta o gráfico do semivariograma com a locação sobre o mesmo do número de pares formados em cada passo.

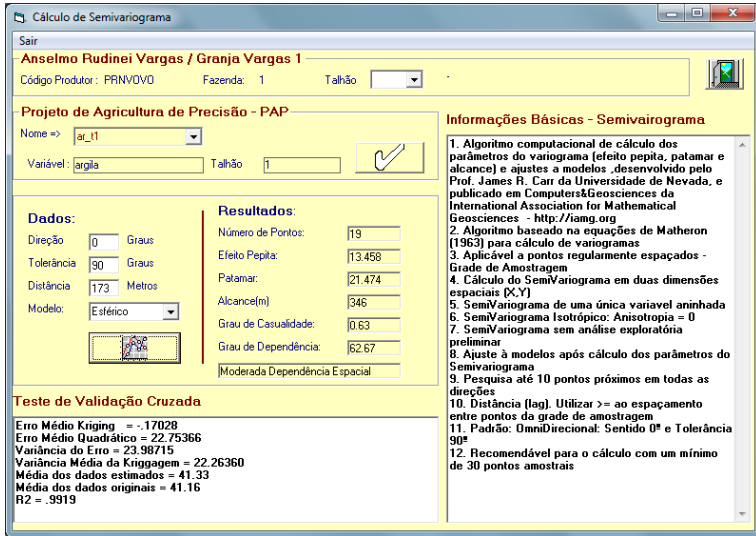


Figura 51. Cálculo do semivariograma.

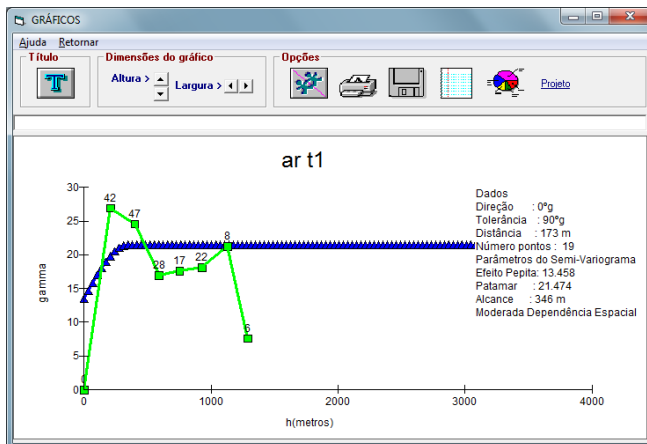


Figura 52. Gráfico do semivariograma.

4.1 Conceitos e Definições

Conceitua-se Modelo Digital de Terreno (MDT) no sistema de agricultura de precisão do CR Campeiro, 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.

Originariamente o termo MDT ou DTM (Digital Terrain Model), 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.

A estruturação do MDT é condição inicial para a execução das tarefas, tais como mapas de fertilidade, produtividade e de aplicação a taxa variável, bem como para análises diversas como cruzamentos, correlações entre variáveis, etc.

O Modelo Digital do Terreno é gerado a partir de um conjunto de pontos georreferenciados, 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.

Em uma linguagem mais simples, um modelo digital é a expressão de uma matriz de n linhas por m colunas, cujos pontos de intersecção estão espaçados entre si em distâncias regulares denominadas de espaçamento X (entre linhas) e de espaçamento Y (entre colunas)

A Figura 53 apresenta graficamente a estrutura de um modelo digital.

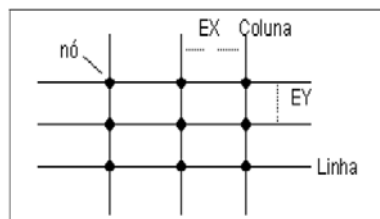


Figura 53. Estrutura conceitual de um modelo digital.

O Modelo Digital do Terreno (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 (ex, ey), entre as linhas e colunas; enquanto que a coordenada Z, é calculada por processo estatístico de interpolação, através de algoritmos específicos.

O Modelo Digital ao ser estruturado, passa a ser uma tabela no Banco de Dados MS Access de nome modelos_ap.mdb , tabela esta identificada com o sufixo (_MDT), acrescido ao nome dado na etapa de construção. Exemplo ARGILA_MDT, é um nome válido de identificação de uma tabela de modelo digital no banco de dados.

Assim esses modelos digitais na estrutura do banco de dados são tabelas independentes, que apresentam a seguinte estrutura:

Campo	Tipo de Dados	Tamanho	Descrição
ID	Número	Longo	Número do ponto - NÓ
X	Número	Duplo	Coordenada E
Y	Número	Duplo	Coordenada N
ZEST	Número	Simples	Atributo calculado do ponto
NL	Número	Inteiro	Posição na grade – N° da linha
NC	Número	Inteiro	Posição na grade – N° da coluna

A Figura 54 ilustra a estrutura de uma tabela MDT com os respectivos valores para cada campo.

4.2 Geração de Modelo Digital a partir de Projeto de AP

A Figura 55 apresenta a tela de geração do modelo digital do terreno, a partir de dados de amostras de solo e planta georreferenciadas, armazenados em projetos de agricultura de precisão – PAP, com o quadro de identificação do produtor, propriedade e de seleção de talhão, quadro de seleção do projeto de agricultura de precisão, quadro de visualização da área de trabalho e quadro de geração do MDT com os parâmetros da grade e métodos possíveis de interpolação.

ID	X	Y	ZEST	NL	NC
7176	212983.18	6810265.8	56.17	62	100
7177	212993.18	6810265.8	56.2	62	101
7178	213003.18	6810265.8	56.22	62	102
7179	213013.18	6810265.8	56.22	62	103
7180	213023.18	6810265.8	56.24	62	104
7181	213033.18	6810265.8	56.29	62	105
7182	213043.18	6810265.8	56.37	62	106
7183	213053.18	6810265.8	56.48	62	107
7184	213063.18	6810265.8	56.61	62	108
7185	213073.18	6810265.8	56.76	62	109
7186	213083.18	6810265.8	56.92	62	110
7187	213093.18	6810265.8	56.95	62	111
7188	213103.18	6810265.8	56.78	62	112
7189	213113.18	6810265.8	56.71	62	113
7190	213123.18	6810265.8	56.65	62	114
7191	213133.18	6810265.8	56.59	62	115
7192	213143.18	6810265.8	0	62	116
7193	211993.18	6810255.8	61.26	63	1
7194	212003.18	6810255.8	61.21	63	2
7195	212013.18	6810255.8	61.16	63	3
7196	212023.18	6810255.8	60.24	63	4
7197	212033.18	6810255.8	60.38	63	5
7198	212043.18	6810255.8	60.52	63	6
7199	212053.18	6810255.8	60.66	63	7
7200	212063.18	6810255.8	60.85	63	8
7201	212073.18	6810255.8	61.15	63	9
7202	212083.18	6810255.8	61.53	63	10
7203	212093.18	6810255.8	61.94	63	11

Figura 54. Tabela padrão de Modelo Digital do Terreno – BD Access.

A sequência do procedimento a ser tomado na estruturação é o seguinte:

- Selecionar produtor, propriedade e talhão.
- Recuperar o projeto de agricultura de precisão.
- Gerar o modelo digital.
- Definir o número de linhas e colunas a partir dos valores extremos de coordenadas da poligonal do talhão com a informação dos correspondentes espaçamentos X e Y.

- Informar o raio máximo de pesquisa.
- Selecionar o tipo de modelo.
- Informar ano de referência.
- Identificar com um nome o modelo a ser gerado.
- Selecionar o método de geração do MDT.
- Pressionar o botão de Executar Função.

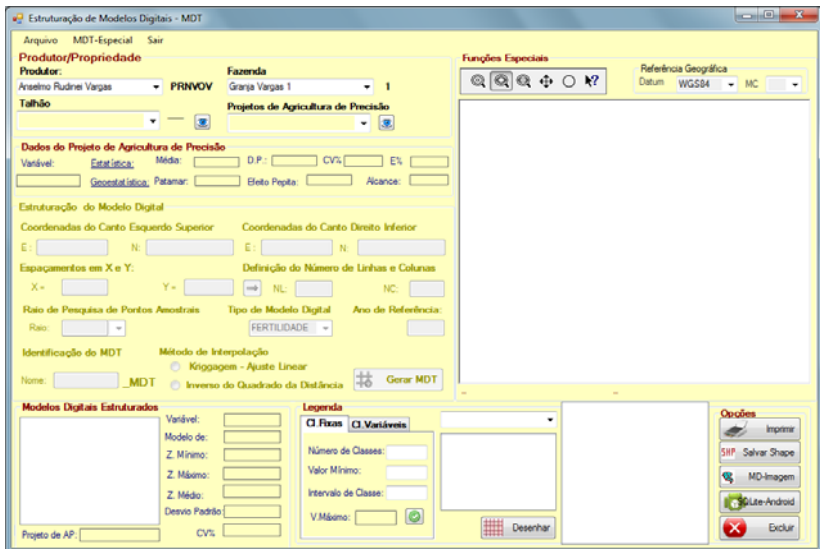


Figura 55. Função de Estruturação de Modelo Digital do Terreno – Origem PAP.

Esta sequência será demonstrada com maiores detalhes e exemplificações no capítulo posterior.

4.2.1 Etapas de Construção

A rotina de estruturação consiste em elaborar a partir de uma área perimetricamente definida, a espacialização de um atributo comum de n pontos georreferenciados, armazenados de forma organizada em um Projeto de Agricultura de Precisão (PAP), sendo que esta espacialização é ordenada em uma grade, denominada de Modelo Digital, cujos valores dos nós são calculado por processos estatísticos de interpolação. A Figura 56 mostra a tela para estruturação de Modelos Digitais do Terreno após a sequência de preenchimento e execução de rotinas.

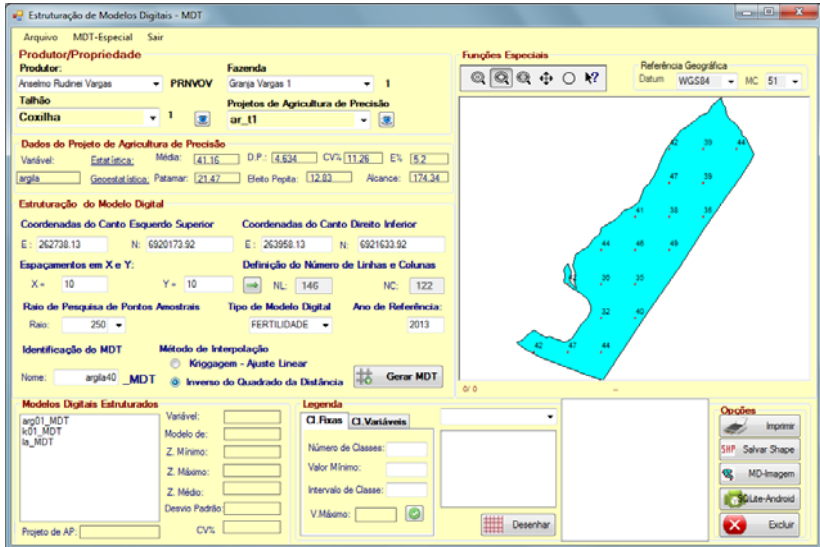


Figura 56. Estruturação de completa de MDT a partir de PAP.

O procedimento de geração de modelos pode ser explicado em quatro etapas:

4.2.1.1 Primeira etapa: Seleção do talhão

Para definir a área de trabalho é necessário selecionar o talhão, em relação ao qual estão indexados os projetos de agricultura de precisão que são base para estruturar os modelos de AP.

É condição prévia de que o talhão em referência tenha as suas coordenadas do limite poligonal registradas no cadastro espacial da propriedade cuja tabela pertencem ao banco de dados padrão MS Access denominado Geocampeiro.mdb que se encontra localizado na pasta c:\campeiro7\dados. A Figura 57 ilustra a seleção do talhão.

Ao proceder a seleção do talhão além da apresentação do desenho, conforme visto na figura acima, as coordenadas do Canto Esquerdo Superior e do Canto Direito Inferior do quadro de desenho são tomadas como definidoras da área do modelo digital, conforme apresentado na Figura 58.

Cabe salientar que esses campos que definem as coordenadas extremas da área de trabalho são de livre digitação, isto é, o usuário pode altera-las e definir a seu critério essa área de trabalho.

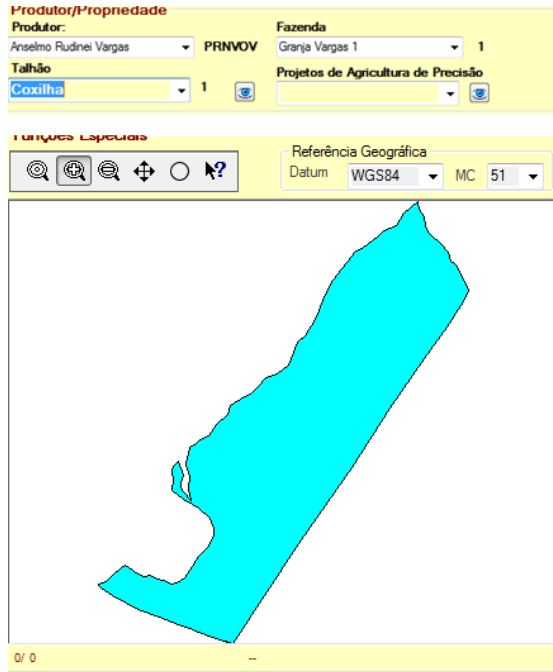


Figura 57. Recuperação do talhão registrado.



Figura 58. Definição da área do modelo digital.

4.2.1.2 Segunda etapa: Recuperação do PAP

Após selecionar a área de trabalho o procedimento seguinte é o de abrir na relação de Projetos de AP, o projeto que será a base do 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.
- Os parâmetros informados são:
- Direção de 0°.
 - Tolerância de 90°.
 - Passo: Distância média calculada entre os pontos do projeto de

AP.

c) Desenho dos pontos do projeto no quadro de desenho com os valores do atributo.

A Figura 59 mostra os quadros com esses resultados estatísticos e do desenho dos pontos sobre a área do talhão.

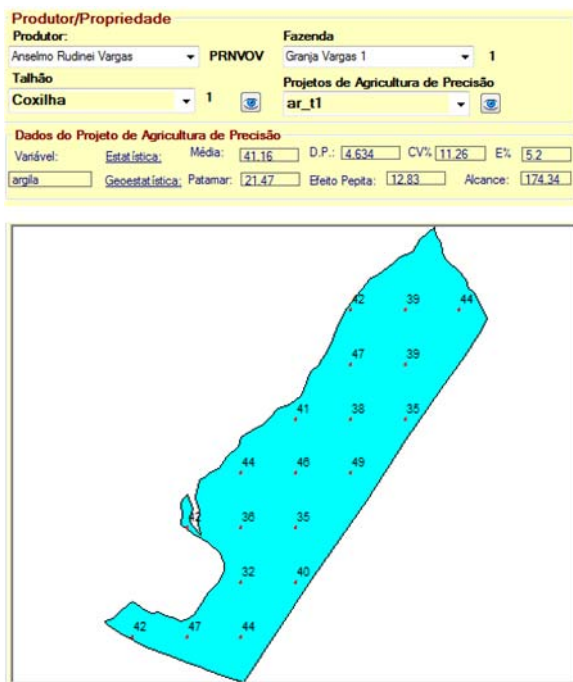


Figura 59. Recuperação de Projeto de AP.

4.2.1.3 Terceira etapa: Parâmetros do Modelo

A terceira da etapa do processo de construção do Modelo Digital consiste em definir os parâmetros da grade regular.

Devem ser informados:

- X inicial – Coordenada X (esquerda) inicial da grade
- X final – Coordenada X (direita) final da grade;
- Y inicial – Coordenada Y (superior) da grade;
- Y final – Coordenada Y (inferior) da grade;
- 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 procede-se um ajuste nas coordenadas do canto direito inferior da área de trabalho

- 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 identificador para o modelo, sendo que ao nome informado será acrescido “_MDT” e salienta-se que, como o Modelo Digital é uma tabela do banco de dados não poderá haver repetição de nomes para os modelos criados pelo usuário.

A sequência de passos desta etapa está ilustrada na Figura 60.

Figura 60. Geração do Modelo Digital.

4.2.1.4 Quarta etapa: Interpolação

Após a definição dos parâmetros da grade do MDT, deverá ser selecionado o procedimento estatístico de interpolação.

Na atual versão do Sistema Campeiro, são disponíveis os seguintes processos de interpolação:

- a) Inverso do Quadrado da Distância
- b) Krigagem – Com geração de um Semivariograma Linear
- c) Krigagem – Com parâmetros de modelos ajustados – Semivariograma
- d) Equações Polinomiais – Ajuste regressivo de 1° a 6° graus

Os processos “c” e “d” são desenvolvidos em outras rotinas específicas que serão demonstradas em item posterior.

A Figura 61 apresenta o mapa resultado final do processo de interpolação e geração do MDT dividido em 10 classes fixas com origem nos valores mínimo e máximo dos dados.

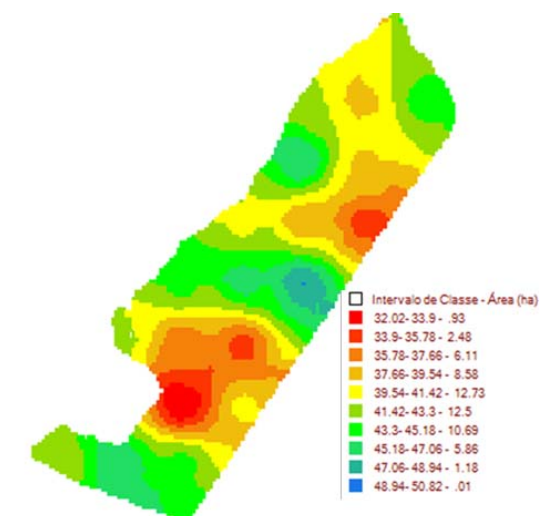


Figura 61. Mapa resultante da interpolação com a legenda.

4.2.1.5 Quinta etapa: Análise de Precisão do Modelo

Após o processo de interpolação, com a estimativa do atributo, é realizada pelo sistema uma análise de desvios dos valores estimados, em relação aos valores reais dos pontos amostrais e apresentado ao usuário a precisão, com a qual o modelo foi estruturado (Figura 62).

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.

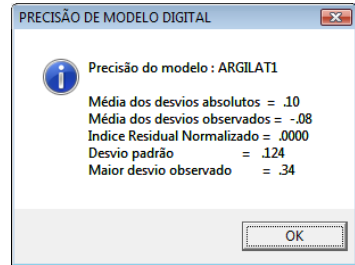


Figura 62. Precisão do Modelo.

Além desta apresentação da precisão do ajuste, será gerado um relatório com os dados amostrais, os dados estimados pelo modelo, a magnitude dos desvios em cada ponto amostral e, juntamente, serão apresentados os elementos da análise de precisão acima especificados com os parâmetros do modelo digital.

A Figura 63 apresenta a tela desse relatório que pode ser impresso ou copiado para a área de transferência do Windows e com opções de ser salvo em vários formatos de arquivos.

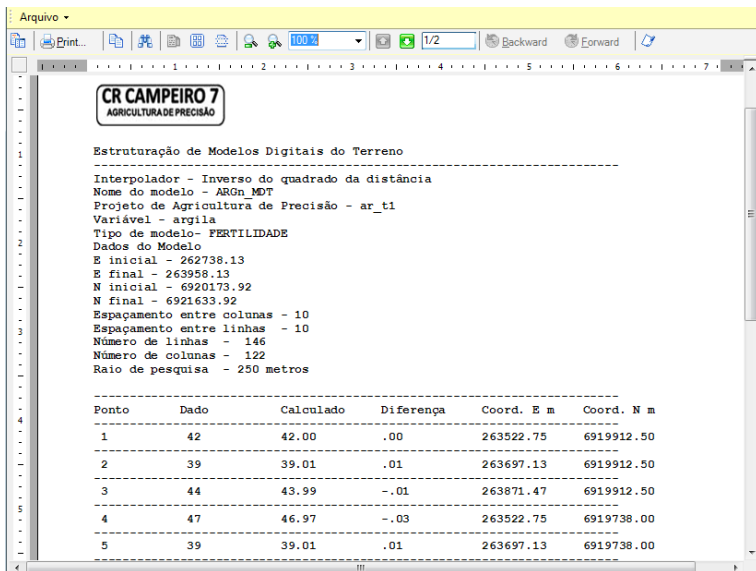


Figura 63. Relatório da análise de precisão do modelo.

Antes de proceder a geração do Modelo Digital do Terreno, o usuário poderá fazer uma análise geoestatística, para conhecer o grau de variabilidade espacial do elemento em pesquisa, através dos parâmetros efeito pepita, pata-mar e alcance, sendo este a referência para definir o raio de pesquisa do processo de interpolação.

4.2.2 Referência do Modelo Digital do Terreno

Para cada MDT gerado no Sistema, são criadas referências do mesmo, com informações identificadoras de seu processo de criação e da precisão do ajuste. Essas referências tem por finalidade principal de vincular a tabela do MDT a base identificadora de talhão, propriedade e produtor, uma vez que a mesma não guarda qualquer informação em relação a esses elementos do cadastro administrativo e outras funções são de armazenar históricos, fornecer elementos comparativos ou elucidativos na geração de novos modelos.

As informações que constam nas referências são:

- Nome do Modelo.
- Nome do Projeto de Agricultura de Precisão origem.
- Variável de representação do modelo.
- Modelo (Natureza do modelo digital).
 - Modelo Base de Aplicação - MBA.
 - Modelo Digital do Terreno - MDT.
- Tipo de MDT: (uma das opções abaixo).
 - Fertilidade.
 - Produtividade.
 - Aplicação.
 - Geral.
 - Comparativo.
 - Análise.
- Característica (uma das opções abaixo).
 - Estruturado original.
 - Derivado.
 - Fertilidade.
 - Produtividade.
 - Aplicação.
 - Fórmula.
 - Altimetria.
- XIN, XFIN – Coordenadas inicial e final – eixo X.

- YIN, YFIN – Coordenadas inicial e final – eixo Y.
- EX, EY – Espaçamentos entre colunas e linhas.
- Interpolação (uma das opções abaixo – código numérico).
 1. Inverso do quadrado da distância.
 2. Krigagem Semivariograma Linear.
 3. Equação S.T.
 4. Krigagem – Parâmetros de Modelos de Ajuste a SV.
- NL – Número de Linhas.
- NC – Número de Colunas.
- REPES – Raio de pesquisa.
- Des_abs – Maior desvio absoluto.
- Desvio_P – Média dos desvios.
- Maior_des – Maior desvio relativo.
- Data – Data de geração do MDT.
- Ano – Ano de referência do modelo.
- NT – Número do talhão.
 - Fazenda – Código numérico da propriedade.
 - Cod_produto – Código do produtor.

A Figura 64 apresenta a tabela de dados com um conjunto de MDTs gerados e referenciados no sistema, sendo que essa tabela é identificada com o nome `modelos_dados` do banco de dados `modelos_ap.mdb`, localizado na pasta `c:\campeiro7\dados`.

Nome_MDT	Projeto_AP	Variavel	Tipo_MDT	Modelo	Caracteris	XIN	XFIN	YIN	YFIN	EX
K_PCA10_MDT	K_PCA10		Aplicação	MBA	formula	211983.18	213143.18	6810885.8	6809725.8	10
K_PCA20_MDT	K_PCA20	POTASSIO	Fertilidade	MDT	Fertilidade	211983.18	213143.18	6810885.8	6809725.8	10
KC_PCA10_MDT	KC_PCA10		General	MDT	Fertilidade	211983.18	213143.18	6810885.8	6809725.8	10
KC_PCA20_MDT	KC_PCA20		General	MDT	Fertilidade	211983.18	213143.18	6810885.8	6809725.8	10
kt_MDT	K_PCA10	K_10	FERTILIDADE	MDT	FERTILIDADE	211983.18	213143.18	6810885.8	6812045.8	10
kteste1_MBA	K_PCA10		Aplicação	MBA	formula	211983.18	213143.18	6810885.8	6809725.8	10
kteste1_MBA	K_PCA10		Aplicação	MBA	formula	211983.18	213143.18	6810885.8	6809725.8	10
M_PCA10_MDT	M_PCA10		General	MDT	Fertilidade	211983.18	213143.18	6810885.8	6809725.8	10
MG_PCA10_MDT	MG_PCA10		General	MDT	Fertilidade	211983.18	213143.18	6810885.8	6809725.8	10
MG_PCA20_MDT	MG_PCA20		General	MDT	Fertilidade	211983.18	213143.18	6810885.8	6809725.8	10
UMIDADE_PCA_MDT	UMIDADE_PCA	UMIDADE	Fertilidade	MDT	Fertilidade	211983.18	213138.18	6810885.8	6809725.8	5
MO_PCA20_MDT	MO_PCA20		General	MDT	Fertilidade	211983.18	213143.18	6810885.8	6809725.8	10
NAL_PCA20_MDT	NAL_PCA20		General	MDT	Fertilidade	211983.18	213143.18	6810885.8	6809725.8	10
P_PCA10_MDT	P_PCA10		General	MDT	Fertilidade	211983.18	213143.18	6810885.8	6809725.8	10
P_PCA20_MDT	P_PCA20		General	MDT	Fertilidade	211983.18	213143.18	6810885.8	6809725.8	10
PH_PCA10_MDT	PH_PCA10	PH_10	Fertilidade	MDT	Fertilidade	211983.18	213143.18	6810885.8	6809725.8	10
PH_PCA20_MDT	PH_PCA20		General	MDT	Fertilidade	211983.18	213143.18	6810885.8	6809725.8	10
PROF_MAX_MDT	PROF_MAX	PROFUNDIDADE	Fertilidade	MDT	Fertilidade	211983.18	213143.18	6810885.8	6809725.8	10
RP_MAX_MDT	RP_MAX	RESISTENCIA	Fertilidade	MDT	Fertilidade	211983.18	213143.18	6810885.8	6809725.8	10
SMP_PCA10_MDT	SMP_PCA10	SMP_10	Fertilidade	MDT	Fertilidade	211983.18	213143.18	6810885.8	6809725.8	10
SMP_PCA20_MDT	SMP_PCA20		General	MDT	Fertilidade	211983.18	213143.18	6810885.8	6809725.8	10

Figura 64. Referência de Modelos Digitais.

4.2.3 Operações Especiais com Modelos Digitais Estruturados.

No formulário de estruturação de modelos digitais o usuário pode executar uma série de procedimentos, desde recuperar e visualizar um MDT estruturado até exportá-lo para dispositivos móveis entre outras funções.

A Figura 65 mostra o quadro de Modelos Digitais Estruturados com as operações que podem ser executadas.

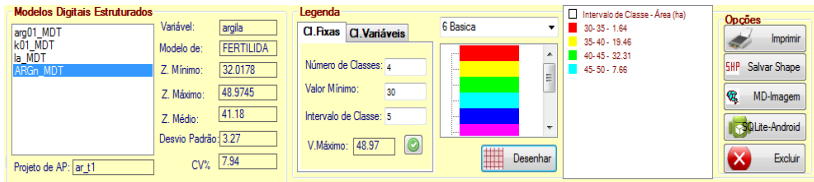


Figura 65. Operações especiais com modelos digitais.

A partir da relação de modelos digitais vinculados ao talhão da propriedade em foco, é possível recuperar os mesmos para fins de visualização em classes fixas e variáveis. Impressão da visualização, exportação em arquivo shape file, exportação para uso em dispositivos móveis com Sistema Android nos aplicativos da série C7, exportação para imagem digital georreferenciada e também para fins de exclusão do mesmo da base de dados do sistema.

4.2.3.1 Recuperar Modelo Digital Estruturado.

A operação de recuperar o MDT apresenta alguns dados estatísticos do conjunto de valores do atributo do modelo, além dos valores de máximo e mínimo, conforme pode ser visto na Figura 66.

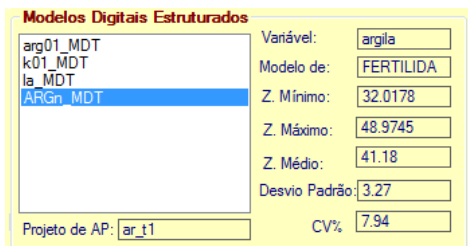


Figura 66. Dados Estatísticos do Modelo Digital.

4.2.3.2 Visualizar Modelo Digital

O MDT recuperado pode ser visualizado em duas formas distintas, nas quais devem ser informados os seguintes elementos:

- a) Classes Fixas:
 - Número de classes.

- Valor mínimo da classe nº 1.
- Intervalo entre classes.

b) Classes Variáveis:

- Número de classes.
- Limite mínimo e máximo de cada uma das classes.

Após a escolha da forma de visualização o passo seguinte é a definição do padrão de cores.

A Figura 67 exemplifica o processo de visualização em classes fixas, a partir da informação dos dados e o resultado que consiste no mapa com a definição das classes no padrão de cores selecionado.

Salienta-se que esta operação de visualização neste formulário de geração de MDT é um processo expedito com recursos limitados, que tem como objetivo unicamente a avaliação do resultado da geração do modelo.

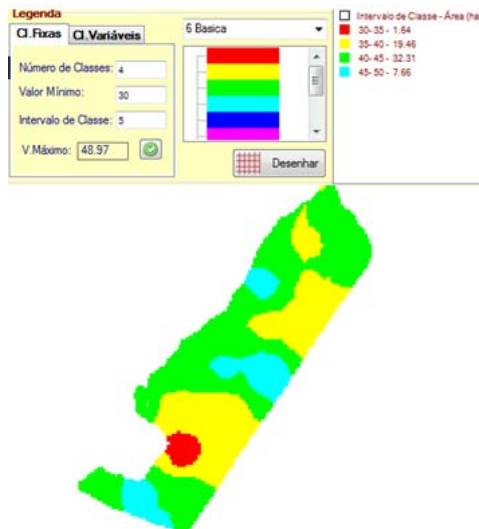


Figura 67. Visualização de MDT em Classes Fixas.

4.2.3.3 Operações de impressão, exportação ou exclusão de MDT

A Figura 68 mostra as operações que podem ser processadas a partir da recuperação e ativação de um MDT.

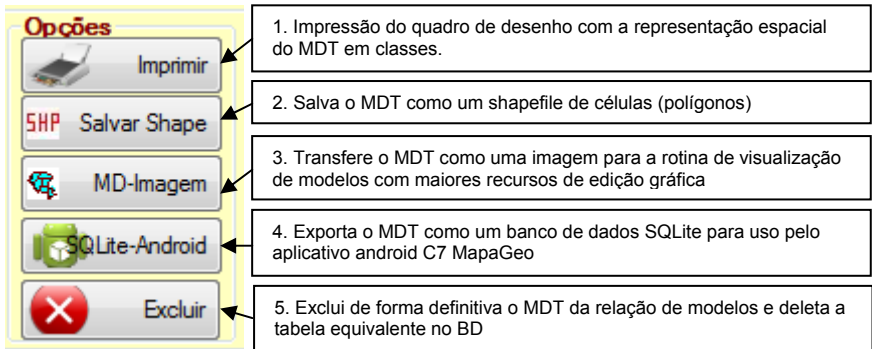


Figura 68. Operações de impressão e exportação de MDT.

4.2.4 Refinamento de MDT

Consiste em gerar com maior resolução um novo MDT a partir de um MDT estruturado.

O refinamento com geração de novo MDT a partir da definição da resolução deste (número de linhas e colunas) pode ser realizado através de dois métodos distintos:

a) Vizinho mais próximo: O valor da célula do novo MDT é obtido a partir do valor da célula do MDT origem mais próxima, não realizando quaisquer cálculos.

b) Reinterpolador pelo Método do Inverso da Distância: Esse método consiste em definir o valor da célula do MDT, a partir de um processo de interpolação espacial que considera a distância de células do MDT origem em relação a posição da célula do novo modelo. Esse método considera no interpolador ao inverso da distância ao quadrado, isto é quanto mais próximo espacialmente um ponto cujo valor do atributo conhecido, estiver de outro ponto qualquer, maior será a sua influência na estimativa do valor do atributo deste.

A Figura 69 mostra a tela da rotina e a sequência de procedimentos para gerar um novo MDT a partir de um modelo estruturado.

A sequência do procedimento ao acessar a função de refinamento é descrita nos passos:

a) Definir os limites do novo modelo.

- Por padrão são os limites do modelo origem a ser recuperado.

- Podem ser estabelecidas as coordenadas extremas do talhão como

limite.

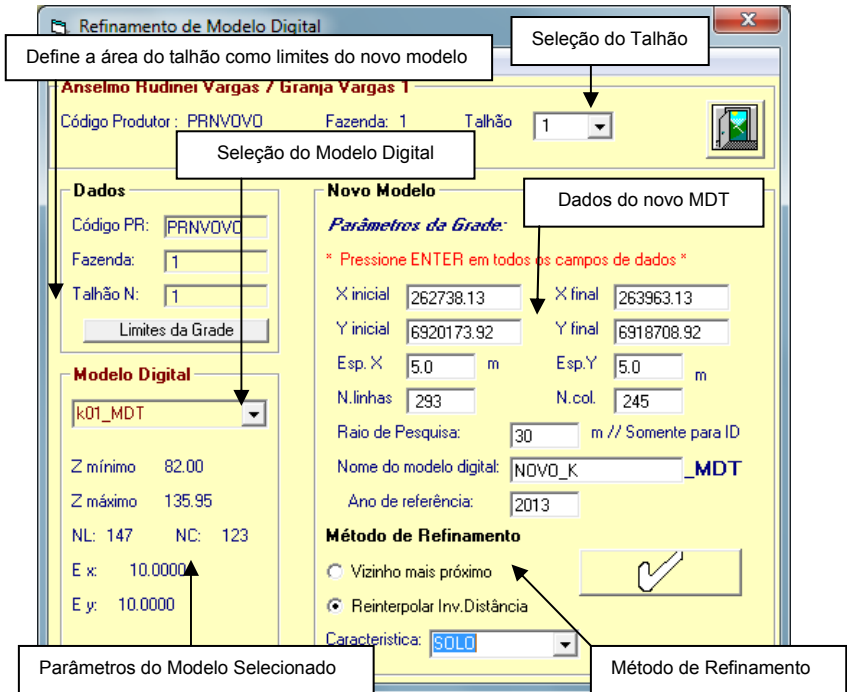


Figura 69. Refinamento/Duplicação de MDT.

- b) Recuperar o modelo digital origem. São apresentados:
- Valores mínimos e máximos do atributo
 - Número de linhas e colunas
 - Espaçamento entre linhas e colunas (ex,ey) – Resolução do modelo
- c) No quadro de geração do novo modelo
- Estabelecer a nova resolução (espaçamento em X e Y) definindo o número de linhas e colunas do modelo.
 - Definir o raio de pesquisa, somente se for empregado o método de refinamento pelo inverso do quadrado da distância.
 - Informar o nome do modelo
 - Informar o ano de referência
 - Selecionar ou digitar a característica deste modelo
 - Selecionar o método de refinamento
 1. Vizinho mais próximo.
 2. Interpolação pelo Inverso do quadrado da distância
 - Executar o processo

4.2.5 Geração de Modelos Digitais de Declividade

Entre as funções de geoprocessamento do Sistema Campeiro, inclui-se a de abrir Modelos Digitais de Elevação (DTM – Digital Terrain Models) do SRTM e do ASTER armazenados em imagens geotiff de 16 bits.

Os modelos digitais do SRTM tem uma resolução espacial de 90 metros, e os do ASTER de 30 metros.

A partir desses modelos, no Sistema Campeiro podem ser gerados mapas de classes hipsométricas, mapas de declividades, mapas de representação altimétrica por curvas de nível, além da sobreposição de corte de limites de municípios, bacias hidrográficas, propriedades e outros.

Além dos mapas podem ser exportados arquivos vetoriais dos pixels (pontos) destas sobreposições em diferentes formatos para leitura em outros sistemas de geoprocessamento.

Os limites de talhões sobrepostos nessas imagens altimétricas e os pixels inclusos nos mesmos apresentam a opção de exportação em arquivo de formato texto, o qual é modelado aplicável para a geração de modelos digitais de altitude e de declividades nas rotinas de agricultura de precisão.

A Figura 70 apresenta o formulário de abertura e de funções de modelos digitais de elevação, que faz parte do sistema de geoprocessamento, e cujas operações são descritas detalhadamente no tópico correspondente.

A opção `Grade_AP` permite que os dados altimétricos sejam salvos em um formato texto compatível com a exigência de estruturação dos MDTs de altimetria e de declividade.

Para exportar os dados de uma determinada área os seguintes passos devem ser seguidos:

- a) Carregar a imagem SRTM
- b) Definir o padrão e as classes de visualização do Modelo Digital de Elevação.
- c) Selecionar Produtor/Propriedade e o talhão
- f) Executar a sobreposição
- g) Salvar a área sobreposta em arquivos vetoriais.
- h) No caso de intenção de gerar modelos digitais de altitude para uso nas funções de AP, selecionar a opção de `Grade_AP`

O Sistema georreferenciado das imagens está relacionado ao WGS84.

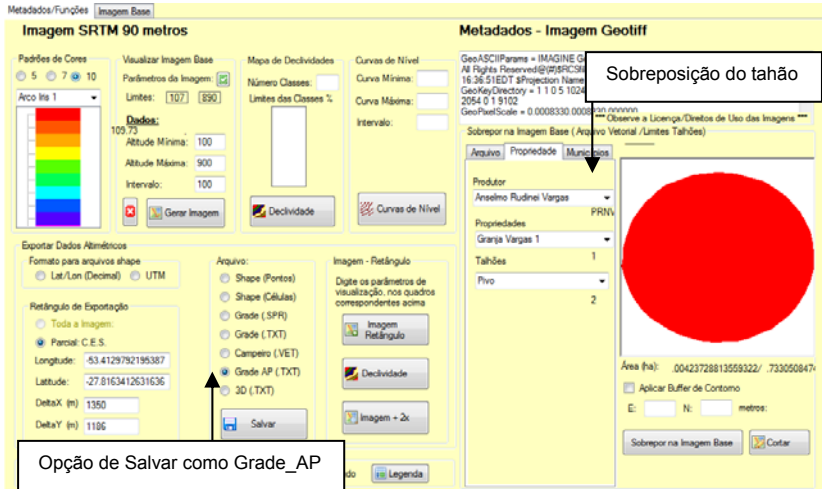


Figura 70. Formulário de função de Modelos Digitais de Elevação de Modelos Digitais de Elevação. Rotina de Geoprocessamento SRTM-ASTER.

A Figura 71 exemplifica a estrutura do arquivo de exportação em texto para serem recuperados em outras rotinas do programa, sendo que as colunas de dados estão separadas por tabulação.

1	283103.238510944	6995435.50872727	305	1	1
2	283185.812712255	6995436.94835977	300	1	2
3	283268.386886614	6995438.38744323	285	1	3
4	283350.961034029	6995439.82597766	271	1	4
5	283433.535154513	6995441.26396305	253	1	5
6	283516.109248075	6995442.70139941	244	1	6
7	283598.683314725	6995444.13828674	240	1	7
8	283681.257354473	6995445.57462504	234	1	8
9	283763.831367329	6995447.01041431	231	1	9
10	283846.405353306	6995448.44565456	233	1	10
11	283928.979312411	6995449.88034577	227	1	11
12	284011.553244655	6995451.31448797	222	1	12
13	284094.12715005	6995452.74808114	218	1	13
14	284176.701028605	6995454.18112528	214	1	14
15	284259.274880329	6995455.6136204	217	1	15
16	284341.848705285	6995457.04556651	220	1	16
17	284424.42250338	6995458.47696359	218	1	17
18	284506.996274628	6995459.90781165	213	1	18
19	283104.848104959	6995343.20480622	268	2	1
20	283187.421692532	6995344.64446883	263	2	2
21	283269.995253154	6995346.0835824	256	2	3
22	283352.568786834	6995347.52214693	250	2	4
23	283435.142293584	6995348.9601624	247	2	5
24	283518.726274628	6995350.39818784	244	2	6
25	283601.300274628	6995351.83621306	245	2	7
26	283684.874274628	6995352.27423828	246	2	8
27	283767.448274628	6995353.71226350	246	2	9
28	283850.022274628	6995354.15428872	247	2	10
29	283933.596274628	6995355.59231394	244	2	11
30	284016.170274628	6995356.03033916	240	2	12
31	284099.744274628	6995357.46836438	240	2	13
32	284182.318274628	6995358.90638960	246	2	14
33	284265.892274628	6995360.34441482	246	2	15
34	284348.466274628	6995361.77944004	217	2	16

Figura 71. Exportação de arquivo de imagem de MDE.

As colunas contêm os seguintes dados:

- 1 - Identificação numérica sequencial a partir do Canto Esquerdo Superior da área de exportação.
- 2 - Coordenada UTM – E (Referência ao WGS84)
- 3 - Coordenada UTM – N
- 4 - Altitude do pontos (metros)
- 5 - Número da linha
- 6 - Número da coluna

Esse arquivo com essa modelagem é aberto em uma rotina específica do Sistema de Agricultura de Precisão e convertido para um MDT, o qual pode ser refinado para melhorar a resolução e a apresentação visual do mesmo, sendo que este MDT com a resolução original da imagem geotiff de MDE consiste na base para geração de modelos digitais de declividade.

A Figura 72 apresenta o formulário dessa rotina com todas as opções de processos descritos acima.

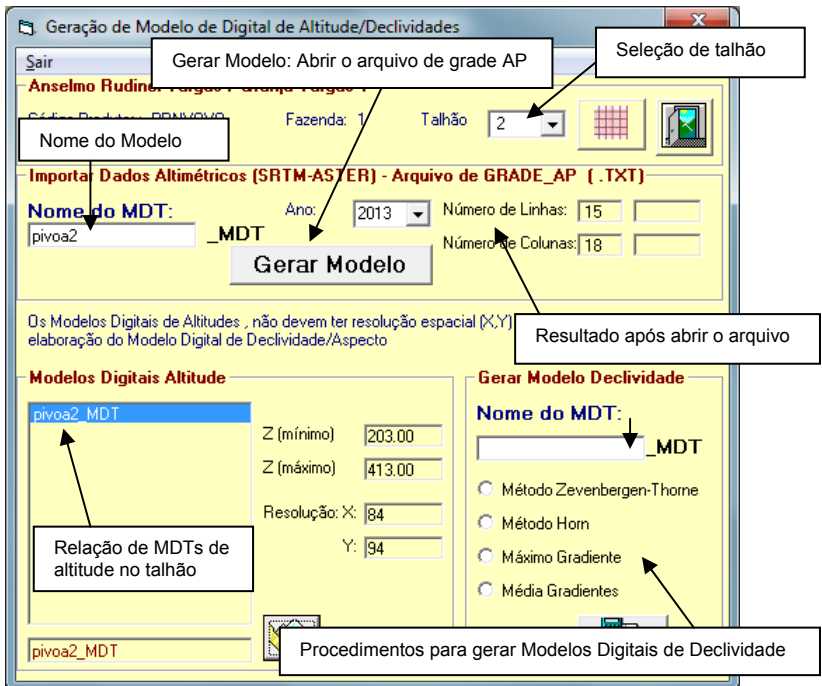


Figura 72. Geração de Modelo Digital de Altitudes.

As Figuras 73 e 74 apresentam respectivamente a visualização de um modelos de altitude com a resolução original da imagem SRTM e posteriormente com a resolução de 10 metros após o processo de refinamento.

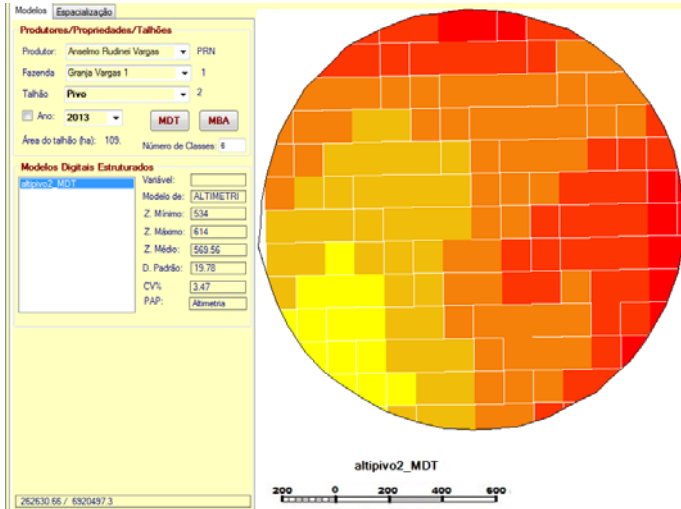


Figura 73. Visualização de MDT de altitudes com a resolução original da imagem SRTM – 90 metros.

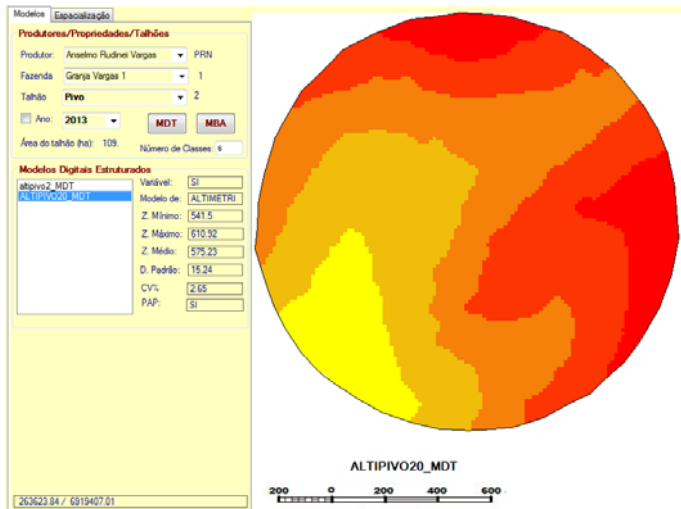


Figura 74. Modelo Digital após refinamento;

Os passos para converter o arquivo texto grade_ap em MDT – Altitudes são os seguintes:

- a) Selecionar o talhão
- b) Informar o nome do MDT (sem espaços)
- c) Informar o ano de referência
- d) Gerar Modelo – Abre o arquivo texto e estrutura o MDT com os dados de linhas e colunas do arquivo.

A partir de um MDT de altitudes é possível o cálculo da declividade em porcentagem em cada ponto do modelo, gerando assim um modelo digital de declividade.

Observe-se que o MDT de altitude não deve ter resolução espacial superior a 25 metros, para a estruturação do modelo digital de declividade.

Os métodos de cálculo da declividade são os seguintes:

- a) Zevenberger-Thorne
- b) Horn
- c) Máximo Gradiente
- d) Média dos Gradientes

No exemplo que pode ser verificado na Figura 4.23 do método Zevenberger-Thorne, o cálculo da declividade é realizado em relação ao ponto central de uma malha de 9 pontos (no exemplo Z5).

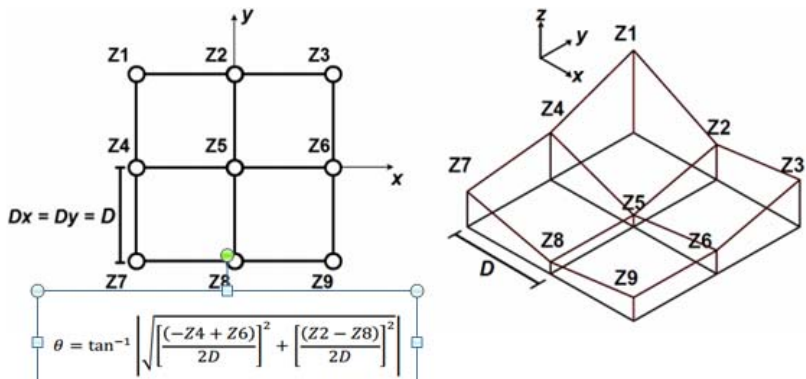


Figura 75. Método: Zevenberger-Thorne.

(Fonte: Salgado, M. P. G. Avaliação dos dados SRTM e GDEM aplicados à modelagem do fator topográfico da USLE. sid.inpe.br/mtc-m19/2011/03.28.22.24-TDI)

Para o Método de Horn o ângulo que expressa a declividade é dada pelo seguinte conjunto de fórmulas:

$$\text{deltax} = ((Z9 + 2 * Z8 + Z7) - (Z3 + 2 * Z2 + Z1)) / (8 * DX)$$

$$\text{deltay} = ((Z9 + 2 * Z6 + Z3) - (Z7 + 2 * Z4 + Z1)) / (8 * DY)$$

$$\text{decliv} = \text{Sqr}((\text{deltax}^2 + \text{deltay}^2))$$

No caso do método Máximo Gradiente é considerado no cálculo a maior diferença de nível entre pontos da matriz cujo alinhamento passa sobre o ponto Z5.

$$\text{Dn1} = Z1 - Z9$$

$$\text{Dn2} = Z2 - Z8$$

$$\text{Dn3} = Z3 - Z7$$

$$\text{Dn4} = Z4 - Z6$$

O método de Média dos Gradientes considera como a declividade do ponto Z5, a média das diferenças de nível conforme mostrado anteriormente.

A Figura 76 mostra o modelo digital gerado a partir do MDT de altitudes de resolução de 90 metros e a Figura 77 o modelo refinado.

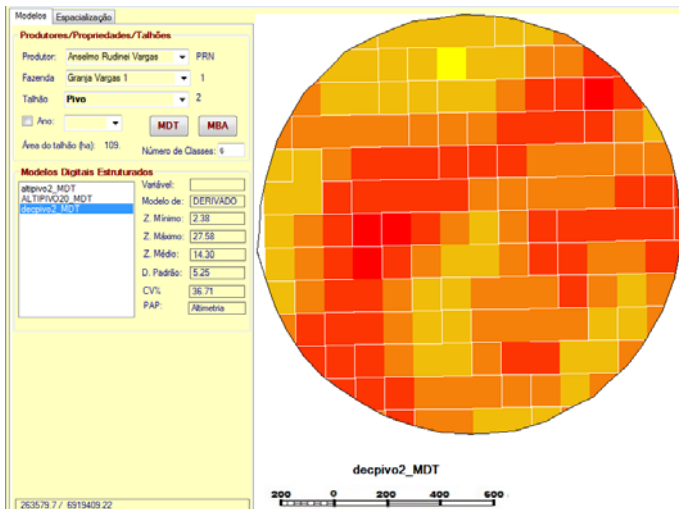


Figura 76. Modelo de declividades – Original. Método de Máximo Gradiente.

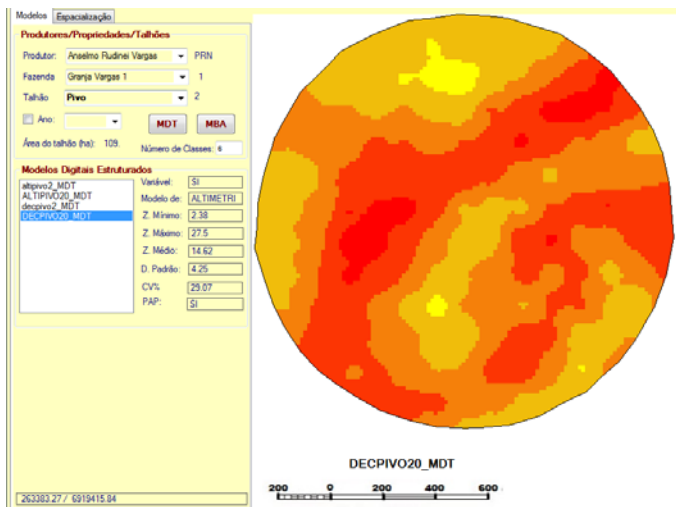


Figura 77. Modelo de declividades refinado.

4.2.6 Geração de Modelos Digitais por Kriggagem.

A partir da análise geostatística da dependência espacial de uma variável organizada em um Projeto de Agricultura de Precisão, através do cálculo do Semivariograma, com a obtenção dos parâmetros de efeito pepita, patamar e alcance dessa dependência, é possível utilizar o interpolador Krigging, com ajuste a modelos teóricos como Esférico, Exponencial e Gaussiano para gerar o Modelo Digital da espacialização da variável na área do talhão em questão.

Os interpoladores padrões para geração de MDTs no CR Campeiro são o do Inverso do Quadrado da Distância e o de Kriggagem por interpolação linear, desconsiderando os elementos de efeito pepita e patamar, assumindo como condição que existe dependência espacial até uma determinada distância, esta definida como raio de pesquisa. Praticamente todos os softwares comerciais de AP existentes no mercado apresentam o Inverso da Distância como o interpolador empregado.

Essa rotina de cálculo de MDT a partir do interpolador de kriggagem é acessada no formulário de geração de modelos digitais do Sistema de AP, conforme mostra a Figura 78, no qual o usuário deverá adotar o seguinte procedimento:

- a) Selecionar o talhão.
- b) Recuperar o Projeto de AP.

- c) Definir a área de trabalho – Coordenadas do Canto Esquerdos Superior e Canto Direito Inferior.
- d) Definir os espaçamentos X e Y – Com esse procedimento serão calculados os números de linhas e colunas.
- e) Informar o nome do Modelo.
- g) Informar o ano de referência.
- h) Selecionar a opção de Kriggagem – Modelo Semivariograma.
- i) Executar a operação.

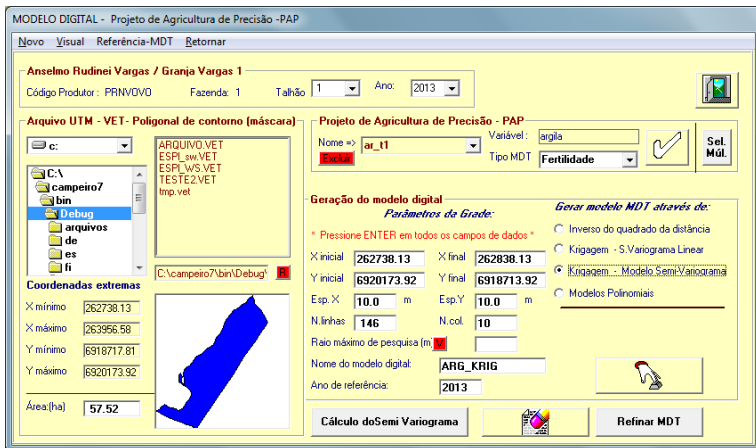


Figura 78. Estruturação de MDT – Sistema de AP.

Antes da execução da operação o usuário deverá realizar a análise geostatística para avaliar a dependência espacial da variável através do semivariograma (Figura 79).

Com o início da operação neste formulário, é aberto um novo formulário para a complementação de informações e conclusão da operação com a geração do MDT.

- a) Efeito Pepita.
- b) Patamar.
- c) Alcance.
- d) Modelo do Semivariograma.

A Figura 80, mostra esse formulário de entrada de dados e o mapa resultante da ação deste método de geração.

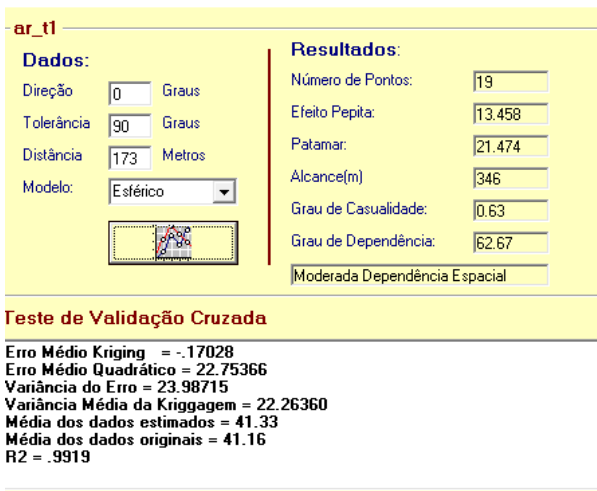


Figura 79. Análise do Semivariograma.

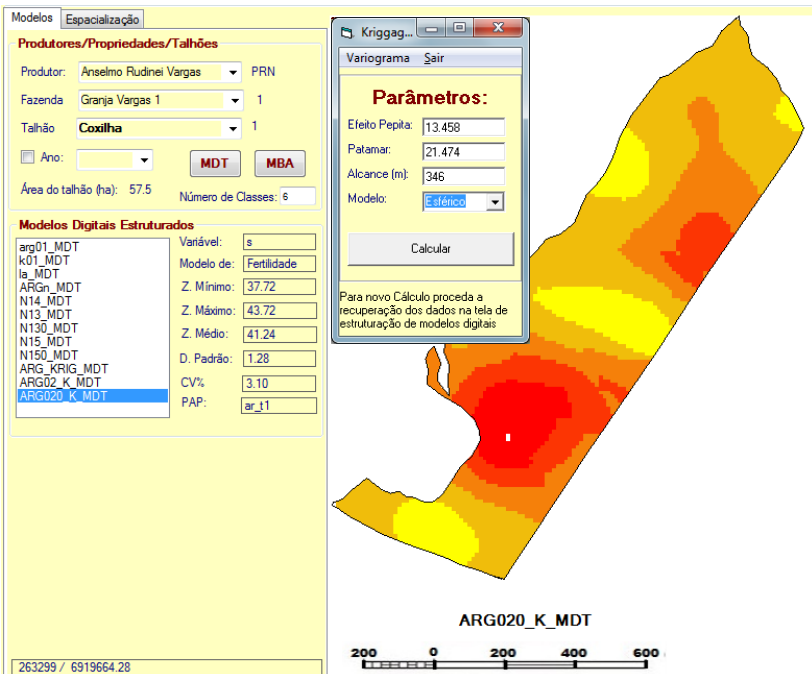


Figura 80. Cálculo e espacialização de MDT a partir do interpolador krigging.

O formulário de estruturação de MDT mostrado na Figura 78 pode ser utilizado para a geração de modelos com outros interpoladores como o inverso do quadrado da distância, a kriggagem linear e o de equações polinomiais de superfície de tendência, as quais tem utilização restrita em modelos de uso na agricultura de precisão, sendo utilizadas principalmente em modelagem topográfica.

4.2.7 Estruturação de MDT a partir de arquivos vetoriais – opções do menu arquivo

O procedimento de estruturação de MDT apresentado nos itens anteriores considera a variável base do modelo que está registrada e vinculada a um Projeto de Agricultura de precisão – PAP.

Outra opção disponível no programa seria a de estruturar esses modelos digitais a partir de valores de uma variável armazenados em arquivos vetoriais do tipo TXT ou VPP.

Nas rotinas de exportação de Modelos Digitais de Elevação, do tipo SRTM e ASTER, há a opção de salvar o conjunto de pixels contidos no interior de um talhão sobreposto na imagem, em arquivo texto cujo formato é identificado como grade_ap. A mesma opção também é disponibilizada na rotina de exportação de valores de NDVI interpretados sobre imagens multiespectrais em módulo de Sensoriamento Remoto no programa. Essas operações de exportação de dados de imagens georreferenciadas são descritas em tópico do Manual de Geotecnologias com o Sistema CR Campeiro 7.

4.3 Considerações sobre processos de interpolação usados no CR Campeiro

4.3.1 Interpolação: Inverso do Quadrado da Distância

A coordenada Z, do nó da grade, é calculada a partir do seguinte algoritmo:

$$\hat{Z} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p} Z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}}$$

Onde: Z – Valor interpolado do nó da grade

Z_i – Valor do ponto i vizinho ao nó da grade

D_i – Distância entre o ponto i ao nó da grade

n – Número de pontos amostrados

p – Expoente de ponderação, no caso = 2

A partir da definição do raio de pesquisa, em cada nó, o sistema “varre” em todos os quadrantes os pontos amostrais do PAP, toma os seus valores de atributo e os pondera, proporcionalmente, pelo inverso do quadrado de suas distâncias ao nó da grade. Assim, os pontos mais próximos, têm maior influência no cálculo de ZEST.

Para evitar um número excessivo de pontos, principalmente se o raio de pesquisa for grande, a varredura capta no máximo 12 pontos (os mais próximos) para executar o cálculo da interpolação.

O procedimento de interpolação pelo Inverso do Quadrado da Distância, é um dos métodos mais antigos de interpolação espacial e também um dos mais utilizados, tem as características de ser um método de fácil entendimento, seguro e relativamente preciso, desde que haja uma definição correta do raio de pesquisa e realiza a interpolação a partir de um único ponto próximo. Sua aplicação é recomendada, quando o “grid de amostragem” for de formato retangular uniforme, com boa densidade de pontos e a variabilidade espacial do atributo pesquisado não for significativa.

Entre as vantagens do método, cita-se que utiliza pouco tempo de processamento computacional, em comparação com a Kriggagem, e não estima valores fora da amplitude de variação dos dados amostrais, definida pelo Zmáximo e Zmínimo.

Não se recomenda seu uso, quando a distribuição espacial dos dados amostrais não for regular, isto é, os dados estão agrupados ou com falhas ou ainda, com distribuição esparsa na área, não captando a tendência da variável.

4.3.2 Interpolação – Kriggagem

O texto a seguir é reprodução de parte de “Introdução aos Métodos de Estimacão Espacial para Confecção de Mapas - Texto Didático 02”, do Prof. Paulo M. Barbosa, do Laboratório de Geomatemática do Departamento de Geologia Aplicada UNESP – Rio Claro – SP, publicado em 2000, disponível na Internet com formato PDF e com autorização de reprodução com citação de fonte, conforme consta na página:

Reprodução autorizada desde que citada a fonte:

Norma 6023-2000/ABNT (<http://www.abnt.org.br>)

LANDIM, P.M.B. Introdução aos métodos de estimacão espacial para confecção de mapas.

DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 02, 20 pp. 2000. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em 07 de Janeiro de 2011

a) Krigagem – Conceitos e Definições

- Método geoestatístico, que leva em consideração as características espaciais de autocorrelação de variáveis regionalizadas.

- Nas variáveis regionalizadas, deve existir uma certa continuidade espacial, o que permite que os dados obtidos por amostragem de certos pontos possam ser usados para parametrizar a estimação de pontos onde o valor da variável seja desconhecido.

- Ao ser constatado que a variável não possui continuidade espacial na área estudada, não há sentido lógico em estimar/interpolando usando-se a krigagem.

- Único meio disponível para verificar a existência ou não de continuidade espacial é a análise variográfica e, se existir, quais os parâmetros que caracterizam este comportamento regionalizado.

- Utiliza distâncias ponderadas e estimativas por médias móveis, pelos quais os pesos adequados são obtidos a partir de um variograma representativo da média das diferenças ao quadrado, dos valores irregularmente distribuídos de Zi, a intervalos de distâncias especificados.

- É necessário um sistema de equações em matrizes, no qual são usados os parâmetros variográficos, para a obtenção dos pesos a serem usados no cálculo do valor do ponto a ser estimado/interpolado.

- Quando um variograma é adequadamente elaborado, a estimativa por krigagem resultante é reconhecida como sendo a estimativa linear melhor e não tendenciosa.

b) Vantagens:

Valores estimados baseiam-se no variograma; se for apropriado, fornece as seguintes informações:

- Parâmetros adequados de amostragem: número de amostras distribuição e densidade

- Parâmetros adequados de busca: tamanho da área de busca, forma (circular ou elipsóide) e, se elipsóide, orientação do eixo principal.

- Parâmetros adequados de grade: tamanhos das células, forma e orientação;

- Natureza da distribuição espacial da variável investigada: uniformidade da distribuição. Importância relativa da influência espacial x casual;

- Previsibilidade da variação espacial da variável avaliada.

Se o variograma for apropriado controla a kriggagem, com as seguintes vantagens:

- evita ponderação arbitrária dos pontos amostrados;

- permite a determinação das melhores estimativas, sem tendenciosidade: o melhor estimador é aquele que produz a melhor precisão (menor variância);

- permite o estabelecimento de limites de confiança, indicados se os resultados são aceitáveis e se a estratégia de amostragem deve ser modificada;

- precisão: contornos suaves, artefatos indesejáveis raros, a não ser nas bordas do mapa;

- Interpolador exato: os valores estimados para os nós das células é exatamente igual ao valor amostrado naquela posição;

- Estima além dos limites máximos e mínimos dos valores dos pontos amostrados;

- Modela tanto tendências regionais quanto anomalias locais;

- Calcula variâncias dos pontos estimados (erros), que podem ser utilizados para:

- Quantificar um intervalo de valores (\pm) para os pontos estimados, definindo estimativas realistas;

- Calcular intervalos de confiança para verificar a probabilidade dos valores ocorrerem dentro de um intervalo de ± 2 unidades de desvio padrão da média, variâncias mapeadas podem indicar locais para adensamento da amostragem.

c) Desvantagens

- O usuário pode não compreender o uso dos controles matemáticos e apesar disto, os resultados são sempre obtidos;

- É necessário tempo para preparo das variograma e entendimento de geoestatística;

- Pode não ser possível a construção de um variograma adequado devido a natureza da variação espacial da variável analisada. Isto pode ocorrer devido à magnitude da amostragem e por erros analíticos;

- Requer longo tempo de computação para grupos de dados grandes ou complexos;

- Necessidade de software capacitado.

d) Quando usar

- Estiverem presentes, tanto tendências regionais quanto anomalias locais.
- Anomalia local não presente em toda a área, por exemplo, em ambiente fluvial.

e) Quando não usar

- Menos de 30 pontos amostrados: número insuficiente de pares para modelar o variograma.

Descrição matemática do algoritmo da krigagem: Fonte: *Student Authors: Daniel S. Dorsel, ddorsel@vt.edu and Timothy LaBreche, tlabrech@vt.edu Faculty Advisor: Daniel Gallagher, dang@vt.edu <http://www.cee.vt.edu/program_areas/environmental/teach/smprimer/kriging/kriging.html>.*

A krigagem pontual é a forma mais simples de krigagem, assumido que a variável de regionalização é estacionária. Esta suposição permite a estimativa de um valor desconhecido de um determinado ponto p , $Y_{E,P}$, que é calculado usando uma média de pesos (W), dos valores conhecidos de pontos próximos (Y).

$$Y_{E,P} = \sum W_i Y_i$$

O valor calculado do ponto ($Y_{E,P}$) apresentará uma diferença em relação ao valor real do ponto ($Y_{A,P}$), sendo que esta diferença é chamada de erro de estimação:

$$\varepsilon_P = (Y_{E,P} - Y_{A,P})$$

A variância do estimador é dada por:

$$s_\varepsilon^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{E,P} - Y_{A,P})_i^2}{n}$$

Ou é a sua raiz quadrada, que é conhecida como erro padrão da estimativa:

$$s_z = \sqrt{s_z^2}$$

A estimativa e erro de estimação dependem dos pesos escolhidos. Idealmente, a krigagem tenta escolher otimamente pesos que produzem um erro de estimativa mínimo. Sendo que, para derivar as equações necessárias no processo de krigagem, é exigido um cálculo complexo. Em síntese, para definir a otimização de pesos e se ter estimativas imparciais, com uma discrepância de estimação mínima, o processo envolve a solução de equações simultâneas.

Como exemplo, para demonstrar a metodologia da krigagem:

Tendo-se os valores de três pontos conhecidos, Y1, Y2, e Y3, procura-se determinar o valor de um ponto desconhecido ponto p, YE,P. Assim, inicialmente, devem ser determinados três pesos W1, W2, e W3.

O procedimento de krigagem começa com as seguintes equações simultâneas:

$$\begin{aligned} W_1\gamma(h_{11}) + W_2\gamma(h_{12}) + W_3\gamma(h_{13}) &= \gamma(h_{1p}) \\ W_1\gamma(h_{21}) + W_2\gamma(h_{22}) + W_3\gamma(h_{23}) &= \gamma(h_{2p}) \\ W_1\gamma(h_{31}) + W_2\gamma(h_{32}) + W_3\gamma(h_{33}) &= \gamma(h_{3p}) \end{aligned}$$

Onde : $\gamma(h_{ij})$ – é a semi - variância
Hij – é a distância entre os pontos
W – Coeficientes (pesos)

Para se ter a solução do sistema, uma quarta equação é utilizada, com a definição que a soma dos pesos é 1.

$$W_1 + W_2 + W_3 = 1$$

Também uma quarta variável é introduzida no sistema de equações, chamada de multiplicador de Lagrange, λ , para assegurar que se obtenha um erro mínimo de estimativa.

Assim o completo sistema de equações simultâneas é o seguinte:

$$\begin{aligned} W_1\gamma(h_{11}) + W_2\gamma(h_{12}) + W_3\gamma(h_{13}) + \lambda &= \gamma(h_{1p}) \\ W_1\gamma(h_{21}) + W_2\gamma(h_{22}) + W_3\gamma(h_{23}) + \lambda &= \gamma(h_{2p}) \\ W_1\gamma(h_{31}) + W_2\gamma(h_{32}) + W_3\gamma(h_{33}) + \lambda &= \gamma(h_{3p}) \\ W_1 + W_2 + W_3 + 0 &= 1 \end{aligned}$$

Separando estas equações em forma de campos matriciais:

$$\begin{bmatrix} \gamma(h_{11}) & \gamma(h_{12}) & \gamma(h_{13}) & 1 \\ \gamma(h_{21}) & \gamma(h_{22}) & \gamma(h_{23}) & 1 \\ \gamma(h_{31}) & \gamma(h_{32}) & \gamma(h_{33}) & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(h_{1p}) \\ \gamma(h_{2p}) \\ \gamma(h_{3p}) \\ 1 \end{bmatrix}$$

Ou em termos gerais:

$$[A] \cdot [W] = [B]$$

Esta equação matricial é resolvida para coeficientes desconhecidos, $[W]$. Os valores das matrizes A e B são originados do semivariograma ou da expressão matemática descrita desta forma. Assim, os pesos (coeficientes) individuais são conhecidos e a estimativa do valor desconhecido do ponto pode ser dada por:

$$Y_{E, P} = W_1 Y_1 + W_2 Y_2 + W_3 Y_3$$

E a estimativa da variância pode ser calculada através de:

$$s_z^2 = W_1 \gamma(h_{1p}) + W_2 \gamma(h_{2p}) + W_3 \gamma(h_{3p}) + \lambda$$

4.3.4 Interpolação – Equações Polinomiais (Superfície de Tendência)

O texto a seguir é reprodução de parte de “**Introdução aos Métodos de Estimação Espacial para Confecção de Mapas - Texto Didático 02**” do Prof. Paulo M. Barbosa, do Laboratório de Geomatemática do Departamento de Geologia Aplicada UNESP – Rio Claro – SP, publicado em 2000, disponível na Internet com formato PDF e com autorização de reprodução com citação da fonte:

a) Conceitos e Definições

- Método pelo qual uma superfície contínua é ajustada, por critérios de regressão por mínimos quadrados, aos valores de Zi, como uma função linear das coordenadas X-Y, dos pontos amostrados e irregularmente distribuídos.

- A equação matemática utilizada para o ajuste da superfície, baseia-se nos polinômios não-ortogonais.

- O ajuste é incrementado, pela adição de termos adicionais (ordens) à equação polinomial.

- Após o ajuste da superfície aos dados amostrados, segundo o grau desejado, os valores de Zc, para os nós da grade são calculados.

- Após a solução das equações, com a determinação dos coeficientes, as equações são utilizadas para o cálculo de Z, para qualquer valor de X-Y; no caso a localização dos nós das células da grade.

- Se necessário e possível, calcular os resíduos entre a superfície gerada e os valores originais.

- Podem ser obtidos contornos muito suaves. As isolinhas podem não ser fiéis aos dados originais.

- Técnica é adequada para “remoção” de tendências e destaque de resíduos.

- Alguns artefatos podem ser gerados nas bordas e no interior do mapa, quando houver áreas sem dados amostrados e com a utilização de ordens polinomiais elevadas.

Primeira ordem: $Z = b_0 + b_1X + b_2Y$

Segunda Ordem: $Z = b_0 + b_1X + b_2Y + b_3X^2 + b_4XY + b_5Y^2$

Terceira Ordem: $Z = b_0 + b_1X + b_2Y + b_3X^2 + b_4XY + b_5Y^2 + b_6X^2 + b_7X^2 + b_8XY^2 + b_9Y^3$

Quarta Ordem: $Z = b_0 + b_1X + b_2Y + b_3X^2 + b_4XY + b_5Y^2 + b_6X^2 + b_7X^2 + b_8XY^2 + b_9Y^3 + b_{10}X^4 + b_{11}X^3Y + b_{12}X^2Y^2 + b_{13}XY^3 + b_{14}Y^4$

Onde: Z = valor estimado para o nó da célula (variável dependente).

X e Y = Coordenadas x e y (variáveis independentes).

$b_0...b_n$ = coeficientes que proporcionam melhor ajuste aos dados amostrados.

b) Vantagens:

- Uma única superfície é gerada.
- Fácil definição de parâmetros.
- A mesma superfície é gerada, mesmo com mudança na orientação da grade.
- Tempo para cálculo de superfície de baixa ordem, é baixo.
- Estima valores acima e abaixo dos amostrados.

c) Desvantagens

- Extrapola valores de Z .
- Anomalias locais não são vistas em mapas de superfícies de baixa ordem, porém pode ser destacadas em mapas de resíduos.
- Utilização torna-se facilmente abusiva: a tentativa de especificar um ajuste de uma superfície de alta ordem pode ser maior, do que o bom senso quanto ao resultado.
- A quantia de RAM necessária, aumenta exponencialmente com o aumento da ordem do polinômio.

Quando usar:

- Número adequado de pontos amostrados estiver disponível, sempre maior, que o número de coeficientes da equação.
- Ordem=1, coeficientes=2, pontos ≥ 3 ;
- Ordem=1, coeficientes=2, pontos ≥ 5 .
- Dados forem regularmente distribuídos.
- Como um “pré-processamento”, para remover a tendência regional antes de “krigar” ou estimar por IQD.
- “Gerar” novos dados em áreas com dados esparsos.

Quando não usar:

- Poucos dados com distribuição irregular ou para uma superfície real, com alta variabilidade local.
- Pontos amostrados em clusters e valores de Z , altamente variáveis.
- Superfície for descontínua por falhas ou inconformidades.
- Amplitude da superfície variar drasticamente ou erráticamente: anomalias locais de grandes variações.”

REFERENCIAS

BALASTREIRE, L. A. **O estado da arte da agricultura de precisão no Brasil**. Piracicaba: L. A. Balastreire, 2000.

BLACKMORE, S. **An introduction to precision farming**. Silsoe College, Inglaterra, 1997. Disponível em: <<http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/cpf/papers/precfarm.htm>>. Acesso em: 23 out. 2000.

ELIAS, A. I. & CAMARGO, OLIVEIRA, J. R. de **O estado da arte da Agricultura de Precisão no Brasil**. – Piracicaba: L. A. Balastreire, 2000.

FRAISSE, C. W. de **Introdução à Agricultura de Precisão – GIS Brasil 98 USDA**. Agricultural Research Service Missouri: Columbia, EUA, 1998.

GIOTTO, E., SEBEM, E. **A topografia com o sistema CR – TP0 6.0**. – Santa Maria: UFSM, CCR, Departamento de Engenharia Rural: FATEC, 2001.

LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V.; BORGHI, E. **Geoprocessamento e agricultura de precisão: fundamentos e aplicações**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2001.

QUEIROZ, D. M.; DIAS, G. P.; MANTOVANI, E. C. Agricultura de precisão na produção de grãos. *In: Agricultura de Precisão: UFV. Anais*. Viçosa: 2000.

SILVA, M. de S. **Curso: gestão da informação no agronegócio** – informática na agropecuária de precisão. Moacir de S. E S.: Viçosa, 2000.