

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**MODELAGEM NUMÉRICA DO TERRENO NA AVALIAÇÃO DO  
VOLUME ADMISSÍVEL EM CANAIS DE CORDÕES DE  
CONTORNO NIVELADOS**

**LUCIANO NARDINI GOMES**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Campus de  
Botucatu, para a obtenção do título de Doutor  
em Agronomia – Área de Concentração em  
Irrigação e Drenagem

Botucatu – SP  
Dezembro – 2009

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**MODELAGEM NUMÉRICA DO TERRENO NA AVALIAÇÃO DO  
VOLUME ADMISSÍVEL EM CANAIS DE CORDÕES DE  
CONTORNO NIVELADOS**

**LUCIANO NARDINI GOMES**  
Engenheiro Agrônomo

**Lincoln Gehring Cardoso**  
Orientador

**João Carlos da Costa Catalão Fernandes**  
Co-orientador

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP – Campus de  
Botucatu, para a obtenção do título de Doutor  
em Agronomia – Área de Concentração em  
Irrigação e Drenagem

Botucatu – SP  
Dezembro – 2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

G633m Gomes, Luciano Nardini, 1979-  
Modelagem numérica do terreno na avaliação do volume admissível em canais de cordões de contorno nivelados / Luciano Nardini Gomes. - Botucatu, [s.n.], 2009.  
vi, 90 f. : il., color., grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2009  
Orientador: Lincoln Gerhring Cardoso  
Co-orientador: João Carlos da Costa Catalão Fernandes  
Inclui bibliografia

1. Conservação de solo. 2. Erosão. 3. Cordões de contorno. I. Cardoso, Lincoln Gehring. II. Fernandes, João Carlos da Costa Catalão. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"(Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU  
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "MODELAGEM NUMÉRICA DO TERRENO NA AVALIAÇÃO DO VOLUME  
ADMISSÍVEL EM CANAIS DE CORDÕES DE CONTOURNO NIVELADOS"


ALUNO: LUCIANO NARDINI GOMES

ORIENTADOR: PROF. DR. LINCOLN GEHRING CARDOSO

CO-ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO CARLOS DA COSTA CATALÃO FERNANDES

Aprovado pela Comissão Examinadora

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. LINCOLN GEHRING CARDOSO

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. ZACARIAS XAVIER DE BARROS

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. VILMAR ANTONIO RODRIGUES

  
\_\_\_\_\_  
PROF. DR. SÉRGIO PASCOAL DE CAMPOS

  
\_\_\_\_\_  
PROF.ª DR.ª FERNANDA LETTE RIBEIRO

Data da Realização: 16 de dezembro de 2009.

## **Doutorado - Dez Anos de vida Acadêmica.**

Na fase final da redação da Tese recordei de uma conversa com o Prof. Lincoln, e saiu essa idéia de relatar de forma breve a minha vida acadêmica.

A Pós Graduação está intimamente ligado à pesquisa, que começou a fazer parte de minha vida no primeiro ano da faculdade, final de 1999 com uma bolsa PAE, inicialmente aprovada para um estágio junto ao Departamento de Economia. A primeira idéia que passou pela minha cabeça foi: que ótimo...uma bolsa! A segunda foi: e agora...economia??? Quando isso aconteceu, eu já estava no meio da disciplina de Topografia e Sensoriamento Remoto I, e o interesse pela área foi patente. Depois de algumas conversas com o Prof. Lincoln, e algumas in-felizes visitas ao Depto de Economia, consegui o convencimento do pessoal da Seção Técnica Acadêmica de que meu lugar era na Engenharia.

Em outubro de 1999 iniciei estágio na área Topografia, Departamento de Engenharia Rural, sob orientação do Prof. Lincoln, acompanhando o projeto de Iniciação Científica da Gisele. Era um projeto FAPESP.

Suprida a bolsa PAE, no início do ano 2000, foi submetido à FAPESP um projeto de Iniciação Científica, agora em meu nome. No hiato sem bolsas (depois de suprida a PAE e antes de aprovada a FAPESP), realizei os primeiros serviços de topografia, por indicação e sempre com orientação do Prof. Lincoln, referência de muitos produtores da região para sanar problemas ambientais, de medições, registros e de imóveis rurais.

A bolsa de Iniciação Científica da FAPESP foi aprovada em maio de 2000 e renovada em maio de 2001, sendo suprida em maio de 2002. Nesses dois anos de Fapesp foram redigidos 14 resumos e um trabalho completo, todos apresentados em Congressos de Iniciação Científica. Dois resumos foram premiados (um terceiro lugar em 2001 e um segundo em 2002) no CIC do Lageado. O trabalho completo foi classificado no CIC da UNESP como um dos melhores da área (único da FCA), prêmio este que garantiu a viagem para apresentação do mesmo trabalho na Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), realizado em Recife – PE.

Em setembro de 2002, um novo projeto foi submetido à Fapesp, sendo aprovado em novembro. Esse projeto rendeu mais 7 trabalhos científicos, sendo um

premiado no Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP (SIICUSP). Esses três anos de iniciação científica não só tiveram participação constante de meu orientador Prof. Lincoln (nessa altura “Seu Lincoln”), bem como dos Profs. Zacarias e Serginho e do Geógrafo Ronaldo.

Findo a graduação, inicio-se em 2004 mais uma etapa: Mestrado. A idéia inicial seria um Doutorado Direto, com consenso do coordenador da Pós Graduação, Prof. João Saad, caso aprovada bolsa pleiteada junto a FAPESP. Bem como iniciei o parágrafo, nova etapa, Mestrado, a FAPESP desta vez não nos agraciou com o fomento. Sem problemas, o projeto foi desmembrado e a primeira etapa culminou com a defesa da dissertação no início de 2006, com bolsa da CNPq no período. Durante essa etapa alguns trabalhos foram publicados em revista e anais de congressos. A atuação acadêmica também se estendeu a apresentação de palestras na área de topografia e legislação conforme solicitação de professores da área.

O Doutorado se iniciou em março de 2006, sob orientação do Prof. Lincoln e fomento da CNPq.

No segundo ano do Doutorado, em 2007, um brincalhão me pregou uma peça, só que desta vez não teve graça nenhuma. João Roque, saudades. Você não faz idéia de como FAZ FALTA! Tenho plena certeza de que você está muito feliz acompanhado tudo isso de bom que acontece aqui de um lugar muito, muito especial.

Casa arrumada, na medida do possível, foi dada a seqüência do Doutorado. Concluídos os créditos, foi iniciada a etapa mais complexa e tão sonhada: o Estágio de Doutoramento no Exterior. O primeiro passo foi o aceite do Orientador estrangeiro, Prof. João Catalão, da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Portugal. Segunda etapa foi preparar a documentação para apreciação da CAPES. A aprovação do pedido pode ser definida como uma mistura de felicidade e insegurança. Minha mãe, Dora e meu irmão Eduardo (segui seus passos!) sempre incentivaram muito e sem dúvidas foram decisivos nessa tomada de decisão de estudar “fora”. Tinha mais um fator que ponderava bastante na parte da insegurança: Karina. Já fazia (e faz!) parte de minha vida, sempre presente, e arrojada nos incentivos.

Desembarquei em Lisboa um pouco perdido. Depois de uma fase de adaptação, iniciei as atividades nas dependências da Unidade de Pesquisa LATTEX (Laboratório de

Tectonofísica e Tectónica Experimental) do Departamento de Engenharia Geográfica Geofísica e Energia, sempre sob a supervisão do Prof. João Catalão. Foram quatro meses em Lisboa.

Durante a estada na Europa, também foi realizada pesquisa bibliográfica na Escola Superior de Engenheiros Agrônomos da Universidade Politécnica de Madri, que possui um importante acervo sobre os assuntos abordados neste trabalho.

Retornando ao Brasil, foram apresentados para o Prof. Lincoln (nessa altura “Seu Linco”) todos os avanços obtidos em Lisboa, e nova fase se iniciava: compilação de todos os dados e redação do trabalho final.

No dia 16 de dezembro de 2009, fui aprovado na defesa desta Tese, encerrando assim mais um etapa e realizando mais um sonho.

A Tese é o resultado final de um trabalho, sendo dirimidas todas as etapas mal sucedidas. Só diante de tantas passagens e dúvidas que ocorrem durante o desenvolvimento de uma metodologia, é que foi possível valorar o quão importante e bonita é a pesquisa.

**Aos meus pais, João (*i. m.*) e Dora, por não medirem esforços e dedicarem suas vidas na educação e formação de seus filhos.**

**Ofereço.**

**BOM MESMO É IR À LUTA COM DETERMINAÇÃO,  
ABRAÇAR A VIDA E VIVER COM PAIXÃO,  
PERDER COM CLASSE E VIVER COM OUSADIA,  
POIS O TRIUNFO PERTENCE A QUEM SE ATREVE,  
E A VIDA É MUITO BELA PARA SER INSIGNIFICANTE.**

(Charles Chaplin)

## AGRADECIMENTOS

- À Deus.
- Ao Professor Doutor Lincoln Gehring Cardoso pela orientação durante esses dez anos de vida acadêmica.
- Ao Professor Doutor João Carlos da Costa Catalão Fernandes pela orientação durante o estágio em Portugal.
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo fomento deste trabalho.
- À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo fomento do estágio no exterior.
- À Karina, sempre presente e fundamental, colaborando com a organização e impressão deste material, com grande capacidade de me fazer manter a calma principalmente na reta final da redação.
- Aos amigos de Lisboa: Fernando, Kika, João Rolin, João Encarregado, Rita, Giovanni, Bino, Rafael, Mineiro e Tchê e professora Catita.
- Aos amigos de verdade, e ao Herman que sempre compreenderam minhas ausências nas reuniões da turma, sempre me incentivando para o desenvolvimento deste trabalho.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE FIGURAS .....	III
LISTA DE TABELAS .....	V
LISTA DE MAPAS .....	VI
RESUMO .....	1
SUMMARY .....	3
1 INTRODUÇÃO .....	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	7
2.1 Conservação de solo e meio ambiente.....	7
2.2 Modelo numérico do terreno .....	15
2.3 Mapas e métodos de obtenção.....	18
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	23
3.1 Material .....	23
3.1.1 Área de estudo .....	23
3.1.2 Equipamentos topográficos e softwares .....	24
3.2 Métodos .....	25
3.2.1 Preparo inicial da área experimental .....	26
3.2.2 Posicionamento de estacas .....	26
3.2.3 Levantamento planialtimétrico .....	27
3.2.4 Tratamento dos dados obtidos em campo .....	28
3.2.4.1 Processamento dos dados dos levantamentos por taqueometria ....	28
3.2.5 Processamento básico dos dados .....	31
3.2.6 Obtenção de dados para análise .....	34
3.2.6.1 Criação de superfícies .....	35
3.2.6.2 Geração de curvas de nível .....	38
3.2.6.3 Análise de terreno – mapa de elevações .....	40
3.2.6.4 Cálculo de volumes .....	44
3.2.6.4.1 Criação da superfície projetada .....	44

3.2.6.4.2 Equação de comparação de superfícies .....	44
3.2.6.4.3 Região de cálculo de volume .....	45
3.2.6.4.4 Cálculo por GRID .....	46
3.2.7 Refinamento do banco de dados inicial .....	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	50
4.1 Dados comparados .....	50
4.2 Apresentações das plantas planialtimétricas .....	50
4.3 Comparações entre os mapas de elevação .....	53
4.3.1 Comparações entre os canais da mesma época .....	54
4.3.1.1 Canal 1 – época 1 .....	55
4.3.1.2 Canal 1 – época 2 .....	57
4.3.1.3 Canal 2 – época 1 .....	58
4.3.1.4 Canal 2 – época 2 .....	60
4.3.1.5 Canal 3 – época 1 .....	61
4.3.1.6 Canal 3 – época 2 .....	63
4.3.1.7 Canal 4 – época 1 .....	64
4.3.1.8 Canal 4 – época 2 .....	66
4.3.2 Comparações entre os canais de diferentes épocas com inserção de pontos .....	67
4.3.2.1 Comparações do Canal 1 com inserção de pontos .....	68
4.3.2.2 Comparações do Canal 2 com inserção de pontos .....	69
4.3.2.3 Comparações do Canal 3 com inserção de pontos .....	71
4.3.2.4 Comparações do Canal 4 com inserção de pontos .....	72
4.4 Cálculo da redução da capacidade de acúmulo de enxurradas nos cordões de contorno .....	74
4.4.1 Cálculos da redução da capacidade de acúmulo de enxurradas nos cordões de contorno com inserção de pontos .....	76
4.4.2 Cálculo da redução da capacidade de acúmulo de enxurradas nos cordões de contorno decorridos doze meses .....	78
5 CONCLUSÕES .....	81
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	82

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Organograma das etapas da metodologia .....	25
2	Representação esquemática do posicionamento das estacas em campo .....	27
3	Tela de configurações da planilha no programa DataGEOSIS .....	29
4	Tela de processamento de cálculos no programa DataGEOSIS .....	30
5	Individualização dos canais .....	31
6	Passagem dos canais em curva para reta .....	32
7	Detalhamento da janela <i>Properties</i> .....	33
8	Detalhamento da janela <i>Purg</i> .....	34
9	Criação de superfícies .....	36
10	Posicionamento das <i>Breaklines</i> no modelo do canal .....	37
11	Configuração da construção da superfície .....	37
12	Características da superfície calculada .....	38
13	Janela para se criar curvas de nível .....	39
14	Curvas de nível com traçado suavizado .....	40
15	Seleção da superfície para o mapa de elevações .....	41
16	Definição do número de <i>Rangers</i> .....	41
17	Cotas máxima e mínima da camada ativa .....	42
18	Escolha dos espaçamentos entre as camadas e definição de cores	42
19	<i>Preview</i> da legenda .....	43
20	Edição da legenda .....	43
21	Criação de equação de comparação de superfícies .....	45
22	Configuração da região de cálculo de volume .....	45
23	Escolha do <i>Site</i> para o cálculo .....	47
24	Configuração do cálculo .....	47
25	Relatório do cálculo de volumes .....	48

<b>26</b>	Pontos inseridos por interpolação matemática (em vermelho e negrito) entre estacas medidas no campo .....	49
<b>27</b>	Representação esquemática da divisão dos canais para comparação..	54
<b>28</b>	Representação esquemática de parte do perímetro do cordão de contorno e o formato do canal gerado por diferentes procedimentos de modelagem numérica de dados .....	77

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela</b>		<b>Página</b>
<b>1</b>	Representação das cores e intervalos correspondentes .....	54
<b>2</b>	Comparação das porcentagens de área do Canal 1 – época 1 .....	55
<b>3</b>	Comparação das porcentagens de área do Canal 1 – época 2 .....	57
<b>4</b>	Comparação das porcentagens de área do Canal 2 – época 1 .....	58
<b>5</b>	Comparação das porcentagens de área do Canal 2 – época 2 .....	60
<b>6</b>	Comparação das porcentagens de área do Canal 3 – época 1 .....	61
<b>7</b>	Comparação das porcentagens de área do Canal 3 – época 2 .....	63
<b>8</b>	Comparação das porcentagens de área do Canal 4 – época 1 .....	64
<b>9</b>	Comparação das porcentagens de área do Canal 4 – época 2 .....	66
<b>10</b>	Maiores variações constatadas nos canais de mesma época .....	67
<b>11</b>	Comparação das porcentagens de área do Canal 1 .....	68
<b>12</b>	Comparação das porcentagens de área do Canal 2 .....	70
<b>13</b>	Comparação das porcentagens de área do Canal 3 .....	71
<b>14</b>	Comparação das porcentagens de área do Canal 4 .....	73
<b>15</b>	Síntese das informações fornecidas pelo relatório de cálculo de volume do <i>software</i> LandDESKTOP .....	75
<b>16</b>	Aumento do volume admissível dos canais após a inserção de pontos por interpolação matemática .....	77
<b>17</b>	Redução da capacidade de acúmulo de enxurradas nos canais apoiados no banco de dados inicial .....	79
<b>18</b>	Redução da capacidade de acúmulo de enxurradas nos canais apoiados no banco de dados com inserção de pontos .....	79

**LISTA DE MAPAS**

<b>Mapa</b>		<b>Página</b>
<b>1</b>	Mapa 1 .....	52
<b>2</b>	Mapa 2 .....	56
<b>3</b>	Mapa 3 .....	59
<b>4</b>	Mapa 4 .....	62
<b>5</b>	Mapa 5 .....	65

## RESUMO

A ação de processos erosivos em áreas rurais constitui um dos principais problemas da agricultura mundial. A falta de ações conservacionistas nessas áreas, somadas às ações de intemperismo proporciona perda considerável de solos agricultáveis, prejuízo ambiental que é acrescido pela poluição e assoreamento dos rios. Na tentativa de potencializar a produção de alimentos e visando atender à demanda proporcionada pelo crescente aumento da população, técnicas como o cultivo mínimo e o plantio direto contribuem para que haja equilíbrio entre produção agrícola e o meio ambiente, interesse patente das gerações presente e futura. Contudo, notadamente em pequenas propriedades rurais, é comum ainda o uso de tecnologias convencionais, como implantação de cordões de contorno. Em pequena propriedade rural, em área de reforma de pastagem, foram locados quatro cordões de contorno utilizando trator e arado convencional. Com estação total foram realizados dois levantamentos planialtimétricos, logo após a construção dos cordões de contorno e decorridos doze meses. Os dados foram processados pelos *softwares* DataGEOSIS e LandDESKTOP, onde foram criados artifícios para o cálculo do volume admissível nos canais dos cordões de contorno nas duas épocas distintas com o objetivo de verificar a validade da modelagem numérica do terreno na

caracterização da movimentação de solo nos canais. Com base na metodologia adotada foi possível concluir que o modelo numérico do terreno permitiu avaliar o volume de solo movimentado nas três feições de relevo estudadas (relevo natural à montante, fundo do canal e camalhão), quando se constatou que a diminuição da capacidade de acúmulo de águas pluviais nos cordões de contorno foi em média 20,76% em um ano.

**Palavras – chave:** conservação de solo, erosão, cordões de contorno.

**NUMERICAL TERRAIN MODEL APPLIED TO THE TEMPORAL EVALUATION OF CONTOUR LINES HEIGHT. Botucatu, 2009. 83 p. Tese (Doutorado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.**

**Author: LUCIANO NARDINI GOMES**

**Adviser: LINCOLN GEHRING CARDOSO**

**Co - adviser: JOÃO CARLOS DA COSTA CATALÃO FERNANDES**

## **SUMMARY**

The actions of the erosive process in rural areas constitutes one of the most serious problem in agriculture worldwide. The lack of conservationist actions in those areas added to the weathering actions led to a preoccupying agricultural soil loss, environmental damage increased by pollution and rivers sedimentation. To attempt to increase the food production and aiming to help the food demand due to the population increasing, techniques like minimum tillage and no tillage contribute to the equilibrium between agricultural production and environment, what is the interest of the current and future generations. However, mainly in small farms it is common the use of conventional techniques like the contour lines implantation. In an area of pasture reformation into a small farm, four contour lines were demarcated using a tractor and conventional plow. Using a total station were made two topographic survey just after the contour lines demarcation and after twelve months. The data were processed using the software DataGEOSIS and LandDESKTOP, where artifices were created to the calculation of the possible water volume into channels of contour lines for the two dates of surveying, aiming to verify the validity of numerical terrain model to the soil movement characterization into channels. Considering the methodology used was possible to conclude that the numerical terrain

model allowed to evaluate the soil volume alteration in the three relief forms studied (natural relief above, channel bottom and soil ridge), when was verified that the water storage capacity into contour lines decreased in average 20,76 % in a year.

**Key words:** soil conservation; erosion, contour lines.

## 1. INTRODUÇÃO

A conscientização dos produtores rurais sobre a importância do equilíbrio entre produção agrícola e meio ambiente vem aumentando consideravelmente. A tradição de que para se produzir era necessária supressão de vegetação nativa e intensa mobilização do solo vem perdendo espaço, ao mesmo tempo que aumenta o respeito às áreas de preservação permanente, principalmente nas nascentes bem como o preparo de solo menos intensivo. No Estado de São Paulo, a legislação ambiental rigorosa contribui para essa mudança, levando os produtores rurais a adequarem suas áreas ao Código Florestal Brasileiro, com a demarcação e isolamento das áreas de preservação permanente e averbação da reserva legal.

A manutenção das áreas de preservação permanentes e a implantação de práticas mecânicas de controle da erosão, como cordões de contorno nivelados, contribuem para a recarga do lençol freático, respeitando o ciclo hidrológico, melhorando a qualidade e a quantidade da água nos mananciais.

Com a evolução tecnológica da informática, diversos sistemas e *softwares* foram desenvolvidos para subsidiar o planejamento rural e ambiental de áreas, permitindo o processamento e armazenamento de grande quantidade de dados e fornecendo

resultados, como mapas e relatórios de excelente precisão e em pouco tempo, quando comparados aos métodos tradicionais de cálculo e representação gráfica.

Dentro desse contexto, o presente estudo se justifica como contribuição na adequação de metodologia para cálculo de capacidade de retenção de enxurradas em cordões de contorno nivelados, utilizando como ferramenta o modelo digital do terreno apoiado em pontos não regularmente espaçados em campo.

Considerando serem os resultados baseados em dados reais de campo, o estudo permite definir, na forma de recomendação, o momento adequado para uma intervenção corretiva, no intuito de aumentar a vida útil dos cordões de contorno.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Conservação do solo e meio ambiente**

Segundo Marques (2009), durante o século passado e os primeiros anos do século XXI tem se registrado uma expansão demográfica mundial sem precedentes. Atualmente a população mundial atinge mais de 6700 milhões de pessoas e segundo estimativas da ONU, alcançará os 9000 milhões até o ano 2050. Diversos estudos alertam sobre a contínua perda de solos agricultáveis por erosão, seja pela ação do homem, não empregando práticas sustentáveis ou por fenômenos naturais. Neste sentido, o setor agrícola deve incrementar as produções a fim de alimentar uma população em contínuo crescimento.

Tarback & Lutgens (2005) definem erosão como um processo natural na formação de um solo. Uma vez formado o solo, as forças erosivas, em especial a água e o vento mudam os componentes do solo de um lugar para outro. No passado os processos erosivos ocorriam em velocidades muito mais lentas, pois a superfície terrestre se encontrava coberta e protegida por árvores, arbustos, ervas e outras plantas. Mas as

atividades humanas, como agricultura, exploração florestal e as construções alteraram a vegetação natural acelerando a velocidade de erosão do solo.

Bertoni & Lombardi Neto (1990) definem erosão como o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e pelo vento. A erosão do solo constitui sem dúvida, a principal causa do depauperamento acelerado das terras. As enxurradas, provenientes das águas de chuva que não ficam retidas sobre a superfície, ou não infiltraram, transportam partículas de solo em suspensão e elementos nutritivos essenciais em dissolução, reduzindo, quase que totalmente a capacidade de produção desse solo. Os autores ainda citam a redução da capacidade de retenção de umidade do solo como um problema sério. Na maioria dos solos, o subsolo tem baixo teor de matéria orgânica e não é tão permeável como a camada superior, que quando erodida promove aumento da enxurrada e diminuição de água disponível para as plantas.

Para Garcia & Piedade (1983) os cordões de contorno nivelados consistem no seccionamento do declive, com o objetivo de quebra da velocidade das enxurradas, ou sua retenção total, com a finalidade de diminuir a força erosiva, através do uso de espécies vegetais com sistema radicular bem desenvolvido, tornando-se travadoras do solo, ou ainda, através da utilização de estruturas construídas mecanicamente.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990), plantio em contorno consiste em dispor as fileiras de plantas e executar todas as operações de cultivo no sentido transversal à pendente, em curvas de nível ou linhas de contorno, Nesse sentido, cada fileira de planta, assim como os pequenos sulcos e camalhões que as máquinas de preparo e cultivo do solo deixam na superfície do terreno, constitui um obstáculo que se opõe ao percurso livre da enxurrada, diminuindo a velocidade e capacidade de arrastamento de partículas

Fávero et al (2008) utilizaram cordões de contorno nivelados como prática conservacionista em recuperação de área degradada de pastagem em um sistema agroflorestal no Vale do Rio Doce em Minas Gerais. Os cordões, vegetados com capineira ao longo de seu percurso, foram utilizados como medidas para atenuar os processos erosivos. Os autores concluíram que o sistema agroflorestal, conduzido segundo princípios agroecológicos e conservacionista, está promovendo a recuperação da área degradada, em razão da maior dinâmica do carbono orgânico e disponibilização de nutrientes no solo.

Silva & Silva (1997) utilizaram cordões de pedra em contorno como prática conservacionista em área com características de moderada a alta erodibilidade e pequena profundidade efetiva na região semi árida do Estado do Ceará. As deposições, provocadas por esses obstáculos às enxurradas, formaram, progressivamente, patamares pelo nivelamento natural da superfície original do terreno. Essa prática conservacionista induziu expressivos melhoramentos na qualidade do solo relacionados à elevação dos seguintes parâmetros: profundidade efetiva, porosidade, água disponível, matéria orgânica, nitrogênio, soma de bases, saturação de bases e capacidade de troca de cátions; por outro lado, verificou-se um decréscimo de alumínio nas camadas de sedimentos retidos pelos cordões de pedra, ao longo dos treze anos de controle da erosão

O fluxo da água sobre o solo é o maior agente de transporte de partícula de solo. Em um primeiro momento estas partículas são desagregadas pelo salpico das gotas de chuvas e dependendo da quantidade de chuva, grau de infiltração de água no solo, natureza do solo, cobertura vegetal e declividade do terreno as partículas serão arrastadas morro abaixo sendo depositados em partes mais baixas dos terrenos ou em rios e lagos. Com a concentração de água em pequenas depressões e ganhando velocidade à medida que o fluxo de água e a declividade do terreno aumentam, o processo erosivo tende a aumentar provocando sulcos e posteriormente o voçorocamento (MACHADO et al. 2009). Para os autores, além do fator ambiental, o processo de perda de solo traz prejuízo financeiro ao produtor visto que junto ao solo extraído há também a perda de nutrientes o que compromete a produção e a qualidade, pois as plantas podem ter carência de alguns elementos nutritivos. Com a remoção da camada superficial ocorrem problemas de infiltração e retenção de umidade no solo, visto que o subsolo é mais impermeável e de menor teor de matéria orgânica. Assim, a água não infiltrando, promoverá maior arraste de solo e conseqüentemente menor quantidade de água armazenada para as plantas.

A formação do solo é um processo complexo que inclui reações e rearranjos do material de origem. Muitos eventos ocorrem em seqüência, entre eles a erosão proporcionada pelo intemperismo físico que se dá pela ação mecânica da água e pelas variações de temperatura. Segundo Freire (2006), a água açoita a superfície das rochas e dos minerais provocando rupturas, que seguido das variações de temperatura,

principalmente das diurnas provoca desagregação mais intensa nas rochas, especialmente das formadas por minerais de diferentes espécies.

Existe uma relação entre infiltração, disponibilidade de água e erosão do solo. A água infiltrada é que reabastece o lençol freático, respeitando o ciclo hidrológico, mantendo as vazões dos cursos de água e determinando o balanço hídrico do solo para diferentes culturas. Em solo descoberto, a infiltração será menor, aumentando assim o escoamento superficial responsável pela erosão e inundações. Portanto o conhecimento sobre a infiltração de água no solo fornece subsídio para o controle de erosões e práticas de uso e manejo do solo (BRANDÃO, 2006).

Segundo Paiva (2003), atualmente, no Brasil, os fenômenos erosivos e conseqüentemente o assoreamento de cursos d'água e reservatórios destacam-se como um dos mais importantes problemas ambientais. Os autores definem que o problema da erosão deve-se não só a existência de solos suscetíveis aos processos de erosão hídrica, somados a períodos de elevada pluviosidade, mas também a uma ocupação desordenada e sem critérios básicos de planejamento ambiental, isto é, práticas de uso e parcelamento do solo inadequado e deficientes.

O processo de assoreamento consiste na acumulação intensa de partículas sólidas (sedimentos) em meio aquoso, ocorrendo quando a força da gravidade excede a força do agente transportador natural (água ou vento), ou quando a supersaturação das águas permite a deposição acentuada de partículas sólidas. O assoreamento de rios, lagos está intimamente associado aos processos de erosão, tanto nas encostas, como nas próprias margens dos corpos d'água. Assim, esse processo natural pode ser intensificado por atividades antrópicas, estando associado a aumento da erosão pluvial, práticas agrícolas inadequadas, desmatamento de cabeceiras e margens das drenagens, modificação da velocidade da água por alterações nos rios (barragens, desvios de cursos, pontes etc.). Além disso, outros fatores como a exploração de areia e argila nas planícies fluviais e leito dos rios e ocupação intensa das áreas de mananciais são também grandes indutores de assoreamento dos cursos d'água (SÃO PAULO, 2002).

Segundo Orea (2004), a erosão consiste no desprendimento de partículas ou massas, provocando degradação do solo. A criação de uma cobertura vegetal

na totalidade ou em parte da superfície é um tratamento geralmente inevitável na recuperação de qualquer espaço degradado.

A perda de solos agrícolas por erosão hídrica está intimamente ligada à diminuição de produção de alimentos, concomitante ao aumento da população nos dias de hoje, caracteriza preocupação mundial. A taxa média de erosão em solos agrários na Europa supera o valor de 17 toneladas por hectares ao ano. Especificamente na Espanha mais de 50% dos solos destinados à agricultura estão classificados como de risco médio alto de suscetibilidade à erosão. Na região da Andalucía, essa taxa atinge o valor de 70% (REVISTA AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN, 2009).

Lizana et al. (2005) utilizaram cobertura vegetal no cultivo de oliveiras na região de Andalucía, Espanha, região caracterizada por estação seca pronunciada e ocasionais chuvas torrenciais e topografia acidentada, o que facilita os processos erosivos pela formação de enxurradas, e outros problemas associados como perda de solo, contaminação de águas por nutrientes e pesticidas. Os autores concluíram que a utilização de tal prática conservacionista contribuiu para o aumento da capacidade de absorção de água pelo solo, redução de enxurradas e em definitivo uma diminuição da ação dos processos erosivos. Ainda na região de Andalucía, Marques et al. (2008) compararam sistemas de manejo de solo em oliveiras com ensaios de simulação de chuva, concluindo que a utilização de cobertura diminui as enxurradas e a erosão de solos, bem como a perda de fertilidade. Em linhas gerais a manutenção da cobertura vegetal pode ser considerada técnica positiva do ponto de vista ambiental.

Para Gomes (2006), o manejo inadequado do solo realizado por uma intensa mobilização vem perdendo espaço gradativamente para novas técnicas que visam principalmente a conservação, como o plantio direto que proporciona a mínima interferência na estrutura do solo. Porém, essas novas práticas agrícolas conservacionistas necessitam de novos investimentos em equipamentos, não estando ao alcance dos pequenos e médios produtores rurais que dispõem ainda de equipamentos convencionais. A conservação do solo também é do interesse do produtor menos tecnificado, que percebeu ao longo dos tempos, que áreas com terras expostas às intempéries perdem produtividade. Atualmente, mesmo produtores rurais com pouco conhecimento tecnológico tem ciência dos processos erosivos, que se iniciam em pequenos sulcos e podem atingir grandes

proporções, bem como os prejuízos ambientais e econômicos relacionados a danos a mananciais de água.

A vegetação é o fator que determina a estabilidade dos solos e a prevenção da erosão. A presença de vegetação está relacionada a solos férteis e produtivos resultado da atividade orgânica e distribuição dos componentes químicos, orgânicos e inorgânicos entre os distintos níveis de solo (VIRELLA & SERRANO, 1993). No mesmo contexto, Puertas (1989) cita a matéria orgânica incorporada ao solo como componente idôneo para favorecer a formação de agregados, proporcionando também o aumento da capacidade de retenção de água pelo solo, o que por consequência diminui a ação erosiva das enxurradas.

A erosão linear ocorre quando o escoamento se concentra através de linhas de fluxo superficial bem definidas, podendo desenvolver três tipos de feições: sulcos, ravinas e boçorocas (ou voçorocas). Essas feições apresentam expressão local, sendo bem marcadas na paisagem. O estágio inicial do processo é caracterizado pelo sulco, que evolui para a ravina e esta se sofrer aprofundamento até afloramento do lençol freático, passa a ser denominada voçoroca. (ZACHAR, 1982 apud SMA 2002)

Segundo Abe et al. (2004a), no Estado de São Paulo, Brasil, o desmatamento para a ampliação de terras agrícolas avançou em ritmo acelerado e a taxa de área florestal decresceu de maneira vertiginosa nas últimas décadas, isto também ocorreu no oeste paulista, onde extensas áreas agrícolas são ocupadas principalmente por cana de açúcar e soja, com agricultura mecanizada e intensiva. Nesse sistema agrícola de grandes proporções, o preparo do solo expõe extensas áreas descobertas, que ficam assim sujeitas à ação erosiva do ambiente. Esse fato, aliado à característica do solo da região, cuja composição granulométrica em grande parte é de areia, resulta em alta suscetibilidade à erosão, que se mostra em todas suas feições. Além de reduzir a capacidade produtiva do solo e provocar danos à agricultura, a erosão do solo traz outros problemas igualmente alarmantes, como contaminação da água, ressecamento de nascentes, assoreamento de represas e rios e ocorrência de enchentes.

Ribes (2007) cita a erosão como o maior problema ambiental da Espanha. Segundo o autor, mais de 40% das áreas agrícolas espanholas possuem alto risco de erosão, que facilitam os processos de desertificação. Esse risco de erosão pode diminuir

consideravelmente se for utilizada a agricultura conservacionista, que consiste na utilização de diversas práticas agronômicas que permitem um manejo do solo agrícola alterando o mínimo sua composição, estrutura e biodiversidade reduzindo a degradação e os efeitos da erosão, aumentando consideravelmente a eficiência energética da agricultura.

Nos solos de aluvião ou solos de várzea, Strahler (1993) cita três tipos de trabalho geológicos muito estreitamente relacionados: erosão, transporte e deposição. A erosão fluvial consiste na progressiva extração de material mineral das superfícies e margens do leito de um rio. O transporte é o movimento das partículas erosionadas em dissolução química em suspensão turbulenta ao longo do leito. Já a deposição é o acúmulo de qualquer partícula transportada sobre o leito do rio, conferindo as características deste solo.

A busca de procedimentos e critérios objetivando eficaz proteção do solo contra agentes erosivos vem sendo constantemente atualizada. Paralelamente a disponibilização de novos e modernos implementos acopláveis a tratores, novos métodos de instalação de culturas com mínima movimentação do solo, maior agilidade na locação e construção de curvas de nível, ocorrem dúvidas que devem ser sanadas pela pesquisa e experimentação (GOMES, 2006).

Nebel & Wright (1999), quando se referem à degradação dos solos, citam a fertilidade como base do crescimento vegetal e produção de alimentos. Sem exceção, a erosão degrada solos em todo mundo, transformando áreas de pastagens em desertos e as áreas irrigadas se tornam demasiadamente salinas para o cultivo, condenando milhares de hectares de terras agricultáveis todos os anos.

A erosão hídrica, transporte sólido e sedimentação são processos naturais, complexos e interdependentes. Tais processos são cada vez mais afetados por impactos antropogênicos, os quais alteram seriamente as propriedades do solo e podem representar perdas econômicas consideráveis, conduzindo freqüentemente à necessidade de efetuar intervenções de manutenção nos sistemas hidráulicos fluviais. A conservação do solo deve ser considerada de forma a encontrar o máximo nível de produção abaixo do valor de perda de solo que, teoricamente, permita a sua regeneração natural. A redução dos níveis de erosão para um valor aceitável pode ter antecedentes diferentes como o controle

da perda de nutrientes em terrenos agrícolas ou a prevenção da poluição das águas e diminuição da sedimentação em rios e canais (PONCE ÁLVARES, 1998).

Miller Jr (2002) define como contaminação ou poluição qualquer substância que se espalhe na água ameaçando a saúde, sobrevivência e as atividades dos seres humanos e outros organismos vivos. Os contaminantes podem agir naturalmente, como uma erupção vulcânica ou pela ação antrópica, como pesticidas e fertilizantes transportados pela enxurrada aos mananciais.

Nas áreas de agricultura onde chove regularmente, a desertificação ocorre freqüentemente nas terras desbravadas para serem cultivadas ou deixadas em pousio. A remoção da cobertura vegetal original expõe o solo à erosão acelerada provocada pela chuva e vento. O impacto da chuva sobre o solo nu encharca a superfície e origina a formação de crostas quando o sol nela incide, reduzindo a infiltração e aumentando o escoamento superficial da água. Isto por sua vez leva a uma crescente erosão do solo a qual, se não for submetida a medidas de proteção, acaba por arrastar a superfície fértil do solo, deixando expostos subsolos inertes, culminando com a formação de ravinas nas áreas baixas e de encostas, dificultando ou impedindo inteiramente as operações agrícolas (BARROS & AZEVEDO, 2002).

Teixeira & Andrade (1997) em estudos da quantificação da erosão hídrica em Portugal continental, citam que a estimativa debitada pela rede hidrográfica é indispensável em diversos campos de trabalho, como a avaliação de recursos disponíveis para a alimentação sedimentar do litoral, dimensionamento de obras de engenharia fluvial ou a identificação de potenciais problemas de erosão em terrenos agrícolas e florestais.

A agricultura tem se modernizado, já a pecuária, por possuir características mais conservadoras, encontra mais dificuldades na implantação de práticas conservacionistas. A gênese dos atuais problemas de erosão nas áreas de pastagens do estado de São Paulo foi o cultivo do café, que teve um grande impulso na década de 40. Na época não se adotavam práticas de preparo do terreno em nível, o que proporcionava elevada perda de solo. O declínio da atividade nos anos 70 e a introdução da pecuária em terras arenosas fizeram com que, em menos de duas décadas, a fertilidade do solo apresentasse sinais de esgotamento, abrindo precedentes para a instalação da erosão .

Segundo Calleja (2009) as chuvas torrenciais de outono e inverno são as principais causas de erosão do solo e um dos problemas ambientais mais importantes ligados à agricultura da Espanha. Segundo os autores, a adoção de sistemas conservacionistas em cultivos anuais irrigados é viável, mesmo quando se trabalha em escala comercial, tendo como principais benefícios, em tempo de conservação ambiental, o controle da erosão hídrica e o uso eficiente da água.

## **2.2. Modelo Numérico do Terreno**

No passado as técnicas para a representação altimétrica da superfície terrestre limitavam-se ao traçado manual de curvas de nível, muitas vezes por interpolação matemática simples, a partir de levantamentos topográficos, ou por compilação utilizando-se técnicas fotogramétricas.

Em meados da década de 50, foram iniciados os trabalhos de modelagem numérica da superfície topográfica por um pesquisador do Instituto de Tecnologia de Massachusets – MIT, Charles E. Miller. Os primeiros Modelos Numéricos do Terreno foram elaborados a partir do levantamento das altitudes em uma grade planimétrica regular utilizando-se técnicas fotogramétricas. Com a evolução da informática tornou-se mais intenso o uso de computadores na área da cartografia, facilitando e melhorando a representação do terreno a partir de modelos matemáticos bem definidos.

A interpolação de valores conhecidos de um determinado  $Z$  (altimetria) resulta na modelagem numérica da superfície (ou modelagem numérica do terreno). Para a realização dessa interpolação são necessários cálculos Geoestatísticos, visto que a altimetria varia de um local para outro com algum grau de organização ou continuidade, expresso através da dependência espacial entre os pontos. A estatística convencional baseia-se na pressuposição da independência, ou seja, na hipótese de que as variações de um local para outro são aleatórias e independentes (sem dependência espacial). Os primeiros estudos envolvendo Geoestatística foram realizados em 1951, quando Krige, trabalhando na concentração de ouro em jazidas na África do Sul, concluiu

que não conseguia estudar as variâncias, sem levar em conta a distância entre as amostras (RABAH 2002).

Para Batista (2002), a geoestatística vem apresentando uma aplicação crescente na avaliação da variabilidade espacial de diversos parâmetros de interesse em ciências agrárias, permitindo a interpretação dos resultados baseados na estrutura da sua variabilidade natural, levando em consideração da dependência espacial dentro do espaço da amostragem.

Sequeira (2006) define um Modelo Digital de Terreno como uma representação numérica e matemática da superfície do terreno baseada num conjunto de coordenadas (X, Y e Z) conhecidas. Este conjunto de coordenadas reflete as variações da superfície terrestre, ou seja, o relevo do terreno. Uma das principais dificuldades na criação de modelos digitais de elevação é a obtenção de valores o mais aproximado possível dos valores reais do terreno. Sua obtenção automática tem merecido grande atenção por parte da comunidade científica ao longo dos últimos 25 anos. Uma vasta variedade de métodos foi desenvolvida e é apresentada na literatura, bem como existe nos pacotes de softwares de geração automática de MDT comerciais.

Para Malva (2007) tradicionalmente são utilizadas duas estruturas para representar o relevo: as malhas regulares, conhecidas por Modelos Digitais de Elevação (DEM, da terminologia inglesa Digital Elevation Model) e as malhas irregulares denominadas Redes Triangulares Irregulares (TIN, da terminologia inglesa Triangular Irregular Networks). Um DEM é constituído por um conjunto de altitudes cuja representação plana forma uma partição do plano em malha retangular. Uma TIN é também um conjunto de altitudes, mas cuja projeção no plano forma uma triangulação própria. Quando se associa uma função ao interior de cada célula produz-se um modelo numérico habitualmente conhecido por Modelo Digital do Terreno (DTM, da terminologia inglesa Digital Terrain Model).

A utilização de modelos digitais de terreno (MDT) permite uma visualização tridimensional, ou seja, uma representação que possibilita a visualização intuitiva do relevo e permite simular com certo realismo a visibilidade a partir de determinada posição (ALMEIDA et al., 2005).

Segundo Moreira (2007) a modelagem numérica do terreno permite o cálculo de declividade, volume, cortes transversais, linha de visada, etc. O uso desta função é fundamental em aplicações de engenharia, especialmente na determinação de mapas de contorno (isolinhas), mapas de declividade, mapas de visualização 3D, cálculos de volumes e análises de perfis.

Para Gonçalves (2003), a geração de Modelos Digitais do Terreno (MDT) a partir de curvas de nível e pontos altimétricos tem o inconveniente do volume de dados amostrais para manipulação e armazenamento, além da possibilidade desse modelo apresentar inconsistências geomorfológicas. Utilizando mapas digitais 3D e *breaklines* na caracterização das feições o autor gerou MDT garantindo o contexto geomorfológico com a redução de dados amostrais.

*Breaklines* ou linhas de quebra, de acordo com a tradução, são linhas que determinam o limite dos dados a serem utilizados na interpolação para calcular o modelo digital do terreno. São utilizadas com bastante eficiência em locais onde a topografia apresenta alterações abruptas, gerando mapas com representação do relevo condizente com a realidade de campo. A não utilização das *breaklines* implicaria na geração de um modelo com pouca fidelidade à realidade, comprometendo futuros projetos.

Nobrega et al. (2008) utilizaram *breaklines* no cálculo de modelagem de terreno visando obter planialtimetria de área apoiada em fotografias aéreas e pontos de controle de campo. Como produtos, foram obtidas ortofotos e cartas altimétricas, com equidistância de 5 metros para as regiões montanhosas com cobertura florestal e de 1 metro para as demais áreas, priorizando as áreas de várzea para análise de pontos de alagamento. Análises finais mostram a viabilidade do emprego da metodologia proposta e a alta qualidade dos produtos.

A preocupação com o recuo da linha da costa portuguesa vem desencadeando o desenvolvimento de diversas pesquisas e trabalhos sobre a redução do litoral proporcionado pela erosão. Dentro deste contexto, através de modelos digitais de terreno (MDT), Sousa (2004) realizou cálculos de volumes entre superfícies topográficas em épocas distintas para a monitoração da linha da costa do litoral do Algarve, Portugal. O software utilizado foi o Arc View versão 8.1 de ESRI, e teve o objetivo de avaliar quantitativamente o material removido entre as épocas. Na mesma linha de pesquisa,

Oliveira (2005) utilizou Modelos Digital do Terreno, apoiado em modelos topográficos provenientes de restituição fotogramétrica, para cálculo de erosão no trecho costeiro entre Forte Novo e Garrão, região de Algarve.

Abe et al. (2004b) aliaram a Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) e Sistemas de Informação Geográficas (SIG) para solucionar problemas relacionados com a erosão do solo em áreas extensas, avaliando quantitativamente e qualitativamente, através de modelos digitais de elevação (DEM), sua ocorrência em nível de bacia hidrográfica. Os autores, em outro trabalho (2004) caracterizaram morfologicamente quatro voçorocas situadas no oeste do Estado de São Paulo, tendo como objetivo obter subsídios para auxiliar os trabalhos de contenção da erosão. Os autores citaram que as principais medidas preventivas utilizadas na região são o terraceamento em curvas de nível, o estabelecimento de espécies vegetais nas paredes das voçorocas e o isolamento das áreas através de cercas, o que impede o trânsito de animais, facilitando a estabilização do sulco erosivo.

Em trabalho utilizando krigagem na modelação de superfícies, Menezes et al. (2005) concluíram que os Sistemas de Informação Geográfica apresentam grande capacidade de integração, análise e modelação e produção cartográfica, sendo como tal ferramenta de grande importância na solução de problemas ambientais diversos.

Segundo Liu (2006), os dados de MNT ou DEM (*Digital Elevation Model*) são fundamentais para a construção de modelos em Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) aplicados no planejamento e gerenciamento dos recursos ambientais. Os dados de elevação com alta resolução coletados pelos métodos convencionais, como levantamento topográfico com teodolito são de alta confiabilidade, porém de alto custo, quando comparados ao obtidos com o sensoriamento remoto.

### **2.3. Mapas e métodos de obtenção**

Qualquer estudo que necessite do conhecimento de detalhes de relevo deve-se reportar inicialmente a uma planta planialtimétrica. Em qualquer situação, quanto mais precisos os dados de campo, melhores resultados poderão ser obtidos, contudo,

é conveniente se conhecer a implicação do uso de equipamentos de precisões diferentes na geração dessas plantas.

A utilização de softwares na geração de mapas e projetos tem substituído cada vez mais a elaboração manual tradicional em papel. Tal troca ocorre concomitantemente à evolução da informática, que proporciona programas com grande capacidade de recursos e velocidade quando comparados à cartografia tradicional.

Para que a geração cartográfica seja eficaz é necessário ir além do paradigma de séries de mapas em papel tradicionais, sem sacrificar o apoio à sua produção, o que significa que a produção de produtos digitais já não pode ser conduzida pela produção de mapas em papel, uma vez que a necessidade de dados espaciais se tornou muito mais extensa e complexa (LOPES & CATALÃO, 2007).

Moreira (2007) define o geoprocessamento como a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para tratar dados obtidos de objetos ou fenômenos geograficamente identificados ou extrair informações desses objetos ou fenômenos, quando eles são observados por um sistema sensor. Com aplicação nas diversas áreas da Ciência, destaca-se o emprego do geoprocessamento nos planejamentos rural e ambiental.

Segundo Veiga & Silva (2004), as novas tecnologias de informações e de tratamento de dados espaciais digitais (redes, internet, computação gráfica, comunicação imageamento remoto e geoprocessamento, entre outras) se tornam instrumentos indispensáveis ao geoplanejamento à medida que possibilitam, além da espacialização da informação, maior acessibilidade, precisão e velocidade na obtenção e processamento dos dados necessários às análises. Essas novas tecnologias ganham importância cada vez maior, pois propiciam conhecer melhor o espaço e a sociedade que o produz e mais refinadamente espacializar as relações entre os dois, como subsídio à tomada de decisão. Os autores definem ainda o geoplanejamento como o processo gerador do conhecimento necessário para a elaboração de normas de utilização de determinada área geográfica, levando em consideração a territorialidade ou a espacialidade dos fenômenos envolvidos e suas características ambientais.

Através de técnicas de geoprocessamento, Barboza et. al.(2007) utilizaram o software Autodesk Land Desktop 2005 como apoio na elaboração de mapas no estudo de vulnerabilidade de aquíferos visando o auxílio a programas de prevenção a

contaminação da água subterrânea. Os autores concluíram que as técnicas de geoprocessamento adotadas poderão ser utilizadas como fonte de dados para o desenvolvimento de outras metodologias contribuindo assim com a gestão dos aquíferos e melhores condições sanitárias para a população.

Para Nunes et al. (2009), uso do GPS e softwares topográficos tanto para o levantamento e processamento de dados, bem como para elaboração de plantas e mapas é comum e substitui cada vez mais as práticas topográficas convencionais de campo, o desenvolvimento de planilhas e o desenho manual, resultando em material de excelente qualidade e confiabilidade além do considerável ganho de tempo. Todavia, nunca podem ser descartadas as informações já existentes sobre a topografia de áreas, como mapas antigos, fator que pode proporcionar economia e viabilizar a implantação de um projeto.

O equipamento de GPS é considerado um dos maiores avanços tecnológicos do fim do século XX, tendo revolucionado as técnicas de engenharia de mapeamento, cartografia, agrimensura e agronomia. Dentro deste contexto, Coelho (2003) e Rodrigues (2003) compararam GPSs na caracterização planialtimétrica de áreas para projetos de irrigação e drenagem, utilizando estação total como testemunha. O primeiro autor submeteu dados de campo ao software TopoEVN, onde foi possível efetuar definição automatizada do Modelo Numérico do Terreno, bem como traçado de curvas de nível. Já o segundo autor comparou o valor de cota obtida em cada ponto de duas poligonais distintas. Ambos os autores concluíram que o equipamento de GPS Geodésico fornece com precisão o valor da altimetria.

O emprego de bases cartográficas confiáveis como material de apoio a projetos de planejamento e gestão espacial é de caráter primordial ao seu sucesso. Todavia, a escassez e a desatualização desse material tem levado à adoção de metodologias alternativas, na busca de soluções mais rápidas e menos onerosas para elaboração dessas informações, sem que haja o comprometimento da qualidade (NÓBREGA, 2008).

A geração de mapas a partir das informações do sensoriamento remoto é aliada aos Sistemas de Informações Geográficas é prática corrente nos dias de hoje, pois é possível obter um material de excelente qualidade sem a necessidade de levantamento de campo o que proporciona relativo ganho de tempo. Para Barbosa et. al. (2007) as imagens de satélite têm condições de oferecer uma visão clara, abrangente e atual

do uso da terra. A alta resolução espacial, espectral e temporal dos atuais sistemas de sensores permite que com o uso de aplicativos de computador, para o tratamento e processamento das imagens, obtenham-se análises precisas de qualquer fenômeno que esteja ocorrendo na superfície, no interior da terra e dos mares, em um espaço de tempo curto e com a possibilidade de acompanhamento da evolução destes fenômenos. Nesse sentido, Costa et. al. (2008) estudaram a influência da resolução espacial, espectral e temporal das imagens de satélite na produção automática de cartografia de ocupação do solo, produzindo e comparando diversos mapas derivados de imagens obtidas por diversas técnicas de classificação em área de estudo no Sul de Portugal Continental. Os autores sugerem que a resolução espacial não é determinante na exatidão global do mapa de ocupação do solo produzido. Por outro lado, os resultados demonstram que a maior disponibilidade de informação temporal e, principalmente, de informação espectral, é bastante valiosa para a melhoria da exatidão da classificação.

Novo (2008) define o sensoriamento remoto como a utilização conjunta de sensores, equipamentos para o processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves ou plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta terra a partir do registro e da análise das interações entre radiação eletromagnética e as substâncias o compõem em suas mais diversas manifestações. O autor apresenta ainda diversas aplicações do sensoriamento remoto na caracterização do meio físico, constituindo importante ferramenta ao planejamento ambiental

Segundo Jensen (2009), muitos países utilizam o sensoriamento remoto para obter informações biofísicas importantes. O Departamento de Assuntos de Água e Floresta da África do Sul (cujá sigla em inglês é DWAF) é comandado pelo *South African National Water Act* no sentido de obter informações sobre a distribuição espacial de toda a agricultura que utiliza água durante o ano, visando proteger a população da fome durante secas prolongadas. Todo procedimento de elaboração de mapas é apoiado no sensoriamento remoto e geoprocessamento.

Ribeiro (2008) utilizou as tecnologias de Sensoriamento Remoto e de Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) no mapeamento dos recursos naturais em região do nordeste brasileiro, concluindo que o mapeamento concomitante com a

caracterização morfológica dos recursos naturais proporcionam a aquisição de dados da organização espacial das fácies agrícolas regionais, dando subsídios à estudos que venham apontar ações eficazes para um planejamento correto dos recursos disponíveis, pois fornecem dados para elaboração futura de projetos eficazes e pontuais para um planejamento ambiental regional e municipal.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Material**

##### **3.1.1 Área de estudo**

A área localiza-se no Bairro Faxinal, Município de Botucatu – SP entre as coordenadas UTM 750.452 7.468.987 e 750.734 7.468.796, fuso 22, faixa de latitude K. O clima predominante é Cfa: úmido mesotérmico, de acordo com a classificação de Köppen (Ayodade, 1986). A temperatura média da região, segundo Simões (2001), é de 20,5° C, sendo que a temperatura média do mês mais frio está abaixo de 18°C e do mês mais quente igual ou superior a 22°C. A precipitação média anual está ao redor de 1.447 mm, sendo a precipitação média no mês mais chuvoso e mais seco de 223,4 mm e 37,8 mm, respectivamente (Piroli, 2002). O local está entre 837 e 858 metros de altitude.

De acordo com Almeida (1964), a área pertence ao Planalto Ocidental Paulista, caracterizado por relevo uniforme, extensos espigões de perfis convexos e cimos ondulados, com terminações laterais lombadas, constituindo baixas e amplas colinas que avançam em direção aos vales dos principais rios.

Quanto à erosão linear, segundo as Informações Básicas para o Planejamento Ambiental do Estado de São Paulo (2002), a área se encontra no índice de Muito Alta Suscetibilidade, caracterizado por terrenos de grande fragilidade face aos processos erosivos, ocorrendo na porção oeste do Estado, predominantemente sobre o Planalto Ocidental, que engloba um terço do território paulista. Nesses terrenos afloram os arenitos das Formações, Bauru, Pirambóia e Botucatu, com relevo ondulado (colinas médias) a forte ondulado (morrotes e morros), com ação de processos erosivos em áreas rurais e urbanas.

A referida área é composta por um polígono irregular com 1,527 ha, à montante de mananciais de água (uma represa de 1500 m<sup>2</sup>, proveniente de nascentes d'água e um córrego à jusante). Essa área, incluída em área maior de 11 ha, durante os últimos quinze anos foi explorada com pastagem de maneira predatória, sem qualquer ação conservacionista. O contínuo caminhar de gado, na busca de água no córrego abaixo, provocou ao longo dos anos, o estabelecimento de sulcos. Enxurradas fluindo por esses sulcos, agravaram a situação, chegando os mesmos a cerca de um metro de largura por mais de meio metro de profundidade. A situação, se não controlada, poderia em poucos anos gerar erosões do tipo voçoroca, dada a ocorrência de solo arenoso profundo, classificado segundo Piroli (2002) como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd1) – textura média. A declividade média local se situa entre 12 e 13 %.

O novo proprietário, ao construir à jusante dessa área a referida represa, com o intuito de propiciar proteção à mesma e ao córrego, bem como recuperar a área objeto desta pesquisa, gradeou-a para uniformização do terreno e destruição dos sulcos de erosão, tendo construído cordões de contorno segundo técnicas topográficas precisas, segundo Garcia & Piedade (1983), utilizando-se arado de discos convencional na sua construção.

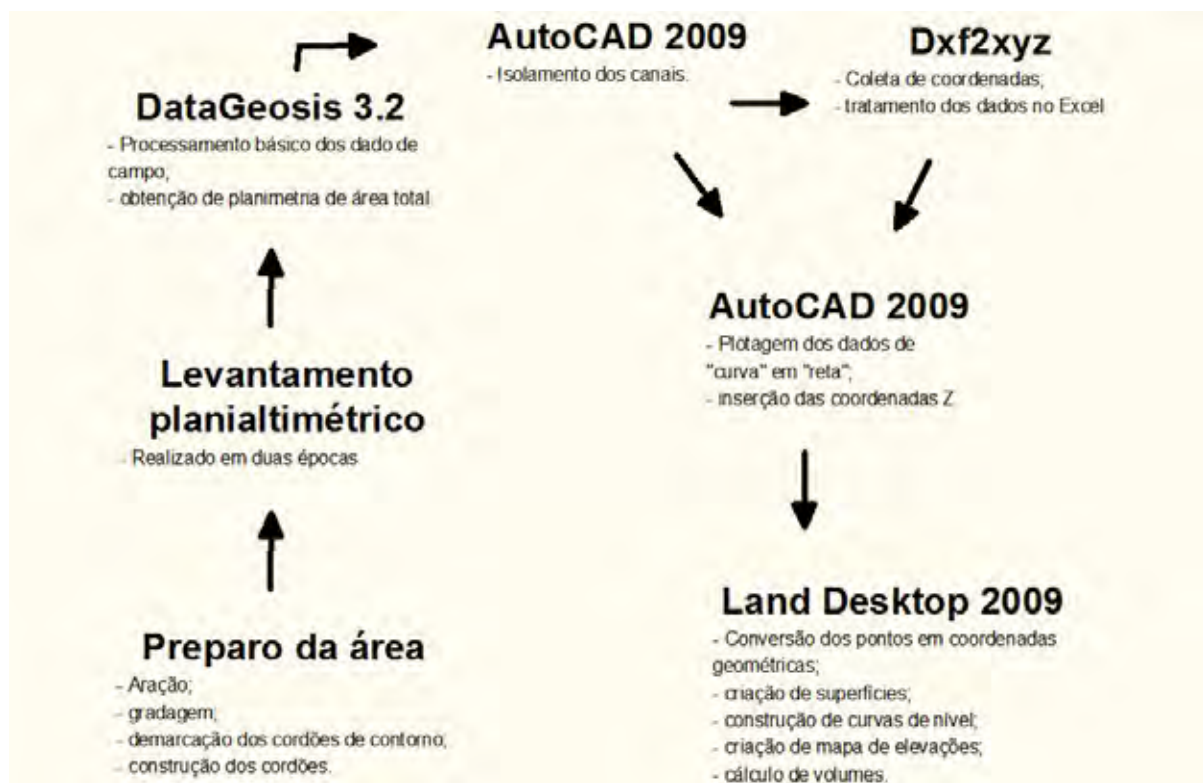
### **3.1.2 Equipamentos topográficos e softwares**

- Nível de precisão Carl Zeiss NI 050 e acessórios;
- Estação total ELTA R 55, Carl Zeiss, precisão angular 01'' e acessórios;

- Microcomputador Sony VAIO, 4 GB RAM, HD 160 GB;
- Software topográfico DataGeosis – Versão 2.3 Professional;
- Software AutoCAD 2009
- Software Dxf2xyz;
- Software Land Desktop 2009;
- Software Excel.

### 3.2 Métodos

A metodologia utilizada segue em síntese a seqüência do organograma apresentado na Figura 1.



**Figura 1** – Fluxograma das etapas da metodologia.

### **3.2.1 Preparo inicial da área experimental**

Inicialmente, utilizando arado convencional os sulcos de erosão foram eliminados, havendo a necessidade, em muitos casos de o trator atingir alguns sulcos com tração a ré, visto a impossibilidade de seu trânsito ser efetuado a vante pela dimensão e profundidade desses sulcos. Em seqüência esses locais exigiram gradagem para uniformização.

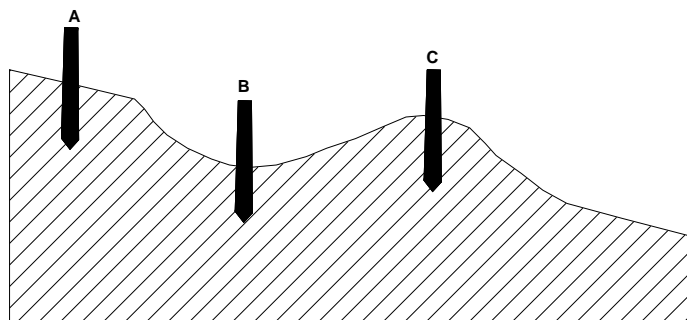
Após essas operações e seguindo critérios descritos em Garcia & Piedade (1983) foram locados, utilizando nível de precisão e acessórios, quatro cordões de contorno, com intuito de conservação de solo e proteção de mananciais. Na seqüência, foram construídos os cordões, com a utilização de trator e arado de discos convencional, únicos equipamentos disponíveis pelo proprietário e que retrata com fidelidade a situação da maioria dos pequenos e médios produtores rurais da região, no que diz respeito a máquinas e implementos agrícolas. Considerando que, mesmo após a eliminação dos sulcos de erosão, a feição do terreno não se alterou, e onde anteriormente ocorriam sulcos ficaram definidas em campo, suaves calhas que exigiriam contínuas e abruptas alternâncias de direção do trator, situação impossível na prática, impondo a necessidade de definir traçado de curvas que nem sempre se posicionavam absolutamente em nível.

Apesar de se tratar de uma área agrícola de pequenas dimensões, apresenta situações ambientais caracterizadas por condicionantes naturais e antrópicos, singulares à realidade dos cenários pretérito e atual da região, com solo e pastagem degradados, bem como presença de obstáculos (árvores que preferencialmente não devem ser suprimidas de acordo com a legislação ambiental), que dificultam o trajeto uniforme do trator na construção dos cordões de contorno, situações que geram desuniformidade no nível do canal.

### **3.2.2 Posicionamento de estacas**

Para definir os pontos de interesse, foram cravadas estacas ao longo de cada cordão de contorno, visando representar as possíveis alterações do relevo. As estacas não apresentaram distribuição regular, porém, em cada cordão, a cada 20

metros aproximadamente, foram colocadas estacas conforme a Figura 2: uma representando o relevo original (A), uma no sulco (B) e outra no camalhão (C), culminando com 300 estacas no total.



**Figura 2:** Representação esquemática do posicionamento das estacas em campo.

### 3.2.3 Levantamento planialtimétrico.

O levantamento inicial, definido como época 01, foi realizado utilizando-se estação total, e obedeceu critérios para levantamentos taqueométricos descritos em Garcia & Piedade (1983). Foi considerado o processo de caminhamento sobre poligonal de base interna a área. A partir dos pontos dessa poligonal foram amarrados topograficamente pelo processo de irradiação os 300 pontos já estaqueados, além de outros pontos em posições intermediárias, no interior dos sulcos, locais considerados importantes para a caracterização do relevo. O processamento dos dados desse levantamento se constituiu na base cartográfica de referência inicial para o estudo proposto.

Decorridos doze meses foi realizado o levantamento final, definido como época 02, seguindo os mesmos critérios do primeiro, verificando assim, a variação altimétrica ocorrida no período.

### 3.2.4 Tratamento dos dados obtidos em campo

#### 3.2.4.1 Processamento dos dados dos levantamentos por taqueometria

Os dados dos levantamentos com estação total foram processados pelo software DataGeosis para a obtenção de cotas e posterior obtenção de planimetria. Para realizar a inserção dos dados, foi necessário abrir uma planilha para cada levantamento. Por se tratar de estação total, seria possível transferir os dados diretamente para um arquivo do software utilizado, todavia foi detectado um defeito na memória do equipamento, o que inviabilizou esse procedimento, sendo necessária a digitação manual dos dados de campo. Para cada levantamento planialtimétrico por taqueometria foi criado um arquivo, digitada uma planilha e foram calculadas as respectivas poligonais, obtendo-se erro relativo de fechamento de 1:46.968 para o levantamento inicial e de 1:51.538 para o final. Julga-se interessante ressaltar que os erros relativos de fechamento obtidos estão em conformidade com os limites de tolerância recomendados pela NBR 13.133 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Segundo estas normas o erro relativo máximo permitido para propriedades rurais é de 1:5.000. O sistema está programado para fechamento linear da ordem de 1:500, o que pode ser alterado pelo usuário no comando *Configurações iniciais*.

Em síntese o procedimento para a abertura de uma nova planilha foi:

- Página inicial do programa - Barra de ferramentas: - Planilhas - Nova Planilha.

Realizada esta seqüência, o programa nos forneceu a tela *Configurações da Planilha*, conforme a Figura 3.



**Figura 3:** Tela de configurações da planilha no programa DataGEOISIS.

Como o levantamento foi apoiado em poligonal de base fechada, nas *Configurações da Planilha* (Figura 2), no item *Sistema da Poligonal*, foi utilizado o método *Fechada*.

Como *Ponto de partida*, utilizou-se: Estação MP, sendo este o primeiro estacionamento do equipamento, e Ré em X, último estacionamento do equipamento, definindo assim a poligonal de base.

Depois de aberta a planilha foi necessário inserir os dados de campo seguindo-se a seqüência:

Selecionar planilha (primeiro ícone na barra de ferramentas da tela inicial):

- |             |                |
|-------------|----------------|
| (X) horário | (X) a zenital  |
|             | ( ) fios       |
|             | (X) horizontal |

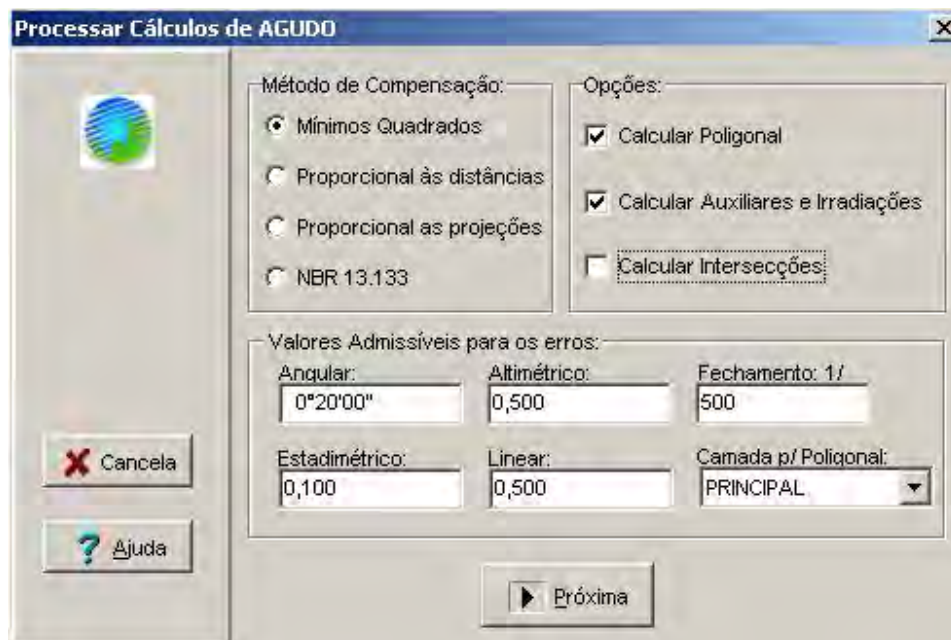
O caminhamento foi realizado em sentido horário.

Como o levantamento foi efetuado com a estação total, utilizou-se a opção *horizontal* pelo fato do aparelho fornecer diretamente o valor da distância horizontal.

Depois de digitada a planilha, foi necessário calcular a poligonal para a obtenção das cotas. Em síntese a seqüência de procedimentos para o cálculo de poligonal de uma nova planilha é:

- Página de abertura do programa - Barra de ferramentas: - Planilhas - Nova Planilha.

Realizada esta seqüência, o programa nos forneceu a tela de processamento de cálculos, conforme a Figura 4.



**Figura 4:** Tela de processamento de cálculos no programa DataGEOSIS

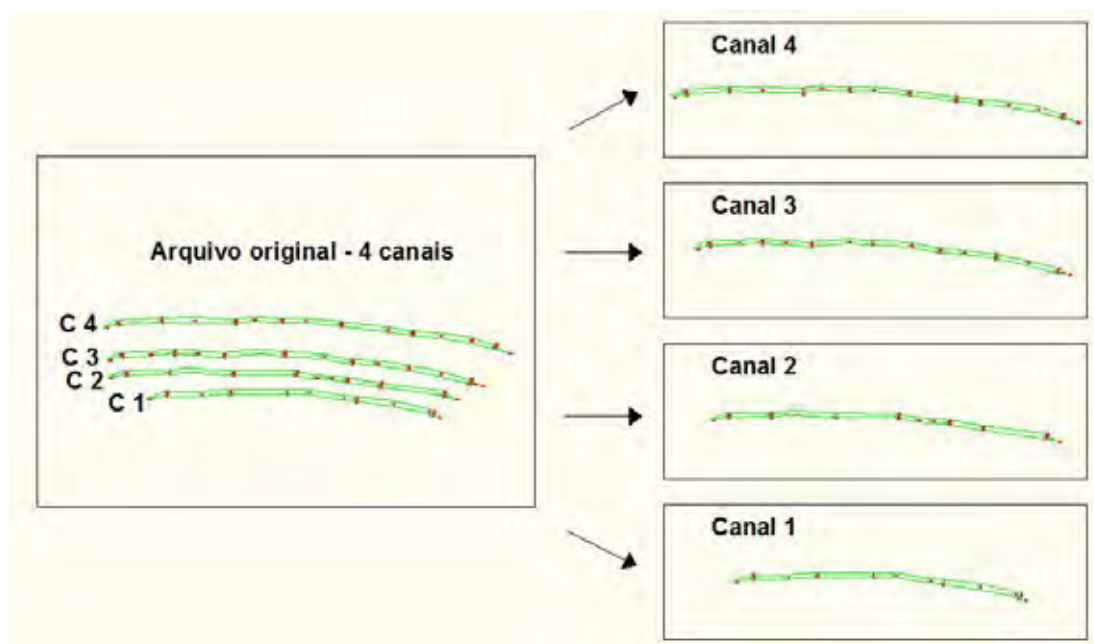
Como método de compensação, utilizou-se os *Mínimos Quadrados*.

No item *Opções*, foram selecionados *Calcular poligonal, auxiliares e irradiações*. Como *Valores Admissíveis para os erros*, foram utilizados valores sugeridos pelo sistema.

Finalizada essa etapa, foram inseridas as cotas de cada estaca obtidas pelo levantamento com a estação total. Para possibilitar a comparação entre os valores de cota de ambos os levantamentos considerou-se, como ponto inicial, um ponto localizado sobre base de concreto próxima, portanto, com cota invariável.

### 3.2.5 Processamento básico dos dados

Os dois bancos de dados básicos gerados pelo software DataGEOSIS, contendo quatro canais foram exportados com extensão *.dxf* para o AutoCAD 2009, onde os canais foram inicialmente individualizados para facilitar a comparação do volume admissível de cada canal, gerando quatro arquivos distintos como pode ser observado na Figura 5.

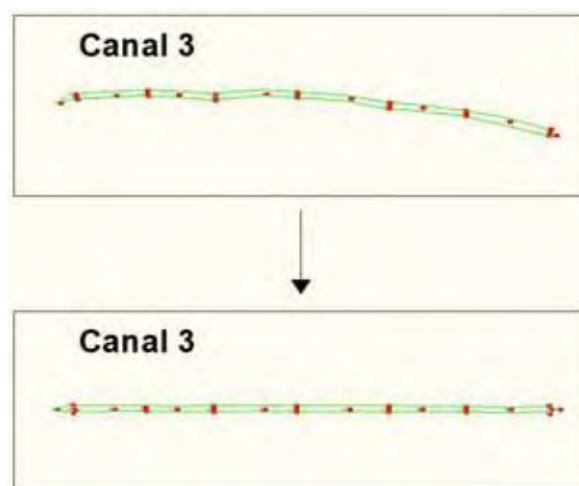


**Figura 5:** Individualização dos canais.

A individualização se fez necessária pelo fato de se pretender a comparação entre a situação dos canais nas duas datas (período de um ano) e não do relevo como um todo. Ressalta-se que a variação altimétrica dos canais foi de pequena monta, que justifica o estudo de seu comportamento individual.

Após a individualização, esses arquivos foram submetidos ao software Dxf2xyz, para geração de planilhas com os dados sendo apresentados em coordenadas X, Y e Z. Esses dados após sofrerem devido tratamento no Excel, foram armazenados em arquivos *.xls*. O uso do Excel foi necessário para gerar colunas x, y e z pois após a conversão das linhas em coordenadas o software Dxf2xyz cria uma única coluna contendo as três coordenadas.

Ainda no AutoCAD 2009, a distância entre cada ponto do canal foi plotada em linha reta e os dados da coordenada Z, obtida através do software Dxf2xyz, foram inseridas individualmente de acordo com essas distâncias, como pode ser observado na Figura 6. Tal procedimento foi adotado em virtude dos pontos levantados em campo estarem muito espaçados em relação à pequena variação altimétrica entre eles. Análises preliminares dos dados fundamentaram essa tomada de decisão, pois nenhum dos softwares utilizados (DataGEOSIS, Surfer, Land DESKTOP) foi capaz de modelar os dados em sua disposição original. A sinuosidade do traçado das curvas fez com que os modelos preliminares não gerassem representação condizente com a realidade de campo.

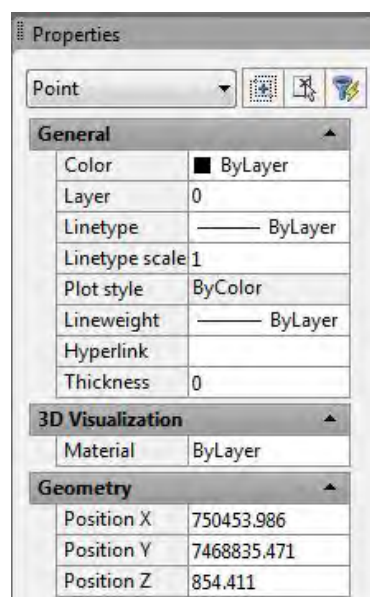


**Figura 6:** Passagem dos canais em curva para reta.

Tal procedimento foi repetido para todos os canais. Ressaltasse que na alteração do formato dos canais não houve mudanças nos valores de área e cota, não comprometendo o cálculo de volume admissível, objetivo principal deste trabalho.

No AutoCAD 2009, para facilitar a inserção do valor das cotas Z nos pontos plotados em retas, utilizou-se a janela *properties* que informa e possibilita a alteração do valor de coordenadas de qualquer entidade gráfica selecionada (nesse caso o ponto), conforme a Figura 7.

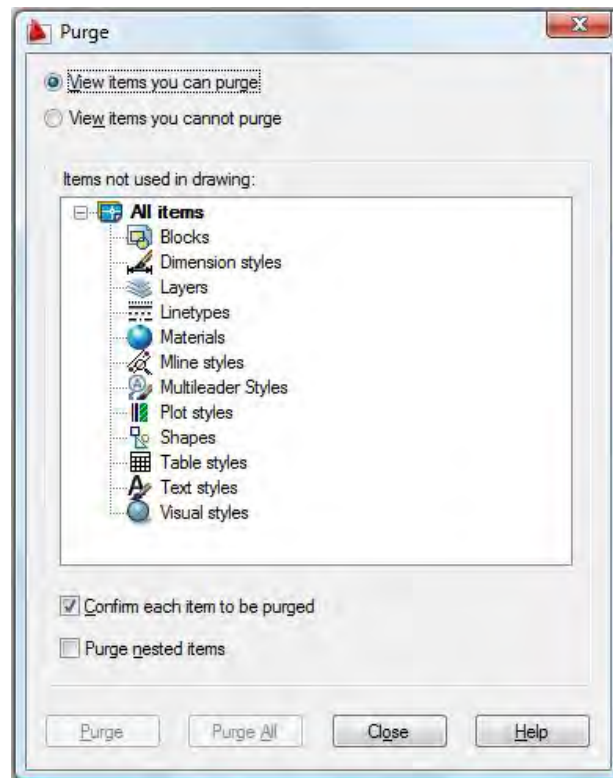
A habilitação da janela *properties* é realizada através da seleção de qualquer objeto (linha ou ponto) com o botão direito do *mouse*.



**Figura 7:** Detalhamento da janela *Properties*.

O trabalho de inserção das cotas Z nas retas (altimetria) foi realizado ponto a ponto, em morosa operação individual apoiado em planilhas obtidas do banco de dados inicial. Em todo arquivo do AutoCAD em que são desenvolvidas muitas operações (nesse caso inserção de pontos) são criadas cópias em formato *.bak* (*backups*) pelo próprio sistema. Essas cópias além de não poderem ser acessadas, carregam o HD, promovendo diminuição da velocidade de processamento do computador e proporcionam aumento de tamanho ao arquivo que está sendo trabalhado (arquivo *.dwg*). Para corrigir os arquivos *.bak* é necessário a simples deleção destes da pasta original. Já para diminuir o tamanho dos arquivos *.dwg*, utilizou-se a ferramenta *Purg*, digitando “pu” na linha de comando do AutoCAD, seguido de *enter*, *Purge all*, *Close*, conforme a Figura 8.

A ferramenta *Purge* elimina toda característica que proporciona aumento do arquivo sem ser utilizada, como exemplo um *layer* (camada) criado que não possua desenho, aumentando a velocidade de processamento e gerando arquivos menores.



**Figura 8:** Detalhamento da janela *Purg*.

### 3.2.6 Obtenção de dados para análise

Nesta etapa os dados foram inseridos em arquivos do software Land DESKTOP 2009, que consiste em um AutoCAD acrescido de rotinas para o desenvolvimento de projetos sobre dados topográficos, onde foi possível realizar a criação de superfícies, criação de mapas planialtimétricos e mapas de elevação bem como o cálculo de volume admissível para cada canal. Através do Land DESKTOP 2009, existem diversas formas e métodos para se calcular o volume, sendo utilizado o procedimento compatível com o banco de dados utilizado, procedimento esse exposto a seguir

### 3.2.6.1 Criação de superfícies

O primeiro passo para se utilizar o Land DESKTOP (LD) é configurar o novo trabalho. Ao abrir o programa é sugerida uma configuração básica, da qual só é alterada a distância de *feet* para *metric*.

Depois de configurado o novo trabalho, é necessário criar um “projeto”, onde todas as informações topográficas do trabalho em andamento serão armazenadas em subpastas, Conseqüentemente, é imprescindível que nas rotinas de cópias de segurança toda a pasta de projeto seja salva e não apenas o arquivo de desenho.

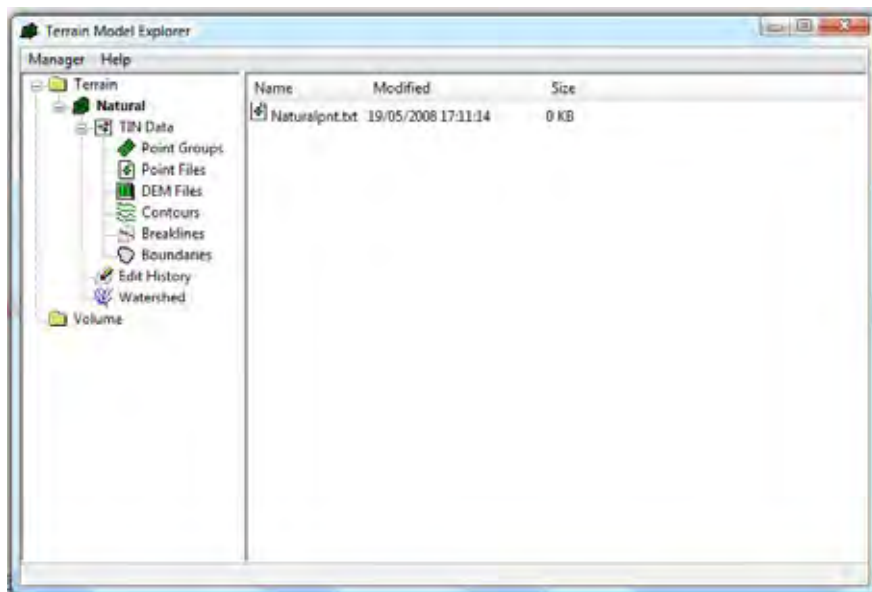
Na seqüência, é necessário transformar os pontos do AutoCAD em *COGO points* (ou pontos com coordenadas geométricas) que é como o LD é capaz de interpretar e analisar os pontos. Os passos para tal transformação estão descritos a seguir:

- *Point Utilities > Convert from AutoCAD Points* – Selecionar os pontos de interesse –  
*Enter.*

Com os dados em uma plataforma conhecida do LD, é necessário criar uma superfície de referência para a realização dos cálculos desejáveis. Para tanto, foi obedecida a seqüência:

- *Terrain > Terrain Model Explorer >* Com o botão direito (BD) do mouse sobre o ícone  
*Terrain > Create New Surface >Rename > Natural*

A expansão da pasta *Natural* permite a visualização das pastas *TIN Data*, ou seja, dos dados da triangulação, conforme a Figura 9.



**Figura 9:** Criação de superfícies.

Na pasta *Point Files*, com o BD, é feito a inserção de pontos a comporem a superfície *Natural*: *Point Files* > *Add Points from AutoCAD Objects* > *Points* > *Entity*. Selecionam-se os pontos desejáveis e clica-se ENTER.

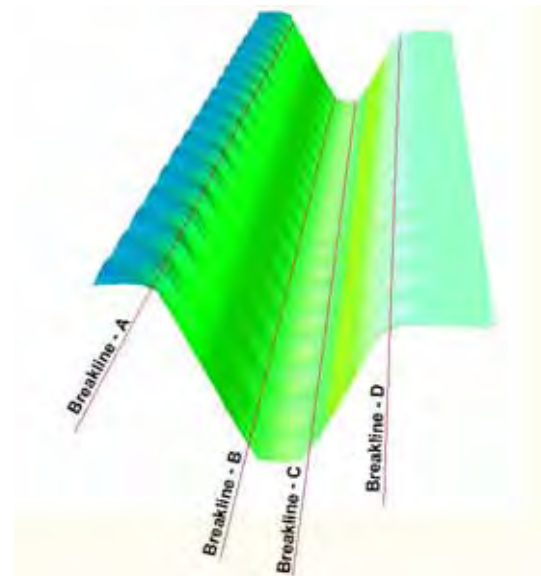
Para que a triangulação reproduza com fidelidade o modelo digital dos canais, utilizou-se a ferramenta *Breaklines*, que consiste na criação de linhas de rupturas, antes da interpolação, visto o formato do canal não apresentar uma continuidade e sim alterações abruptas de feições de relevo (relevo natural, canal, camalhão). Foram criadas quatro *Breaklines* conforme a representação esquemática a seguir representada na Figura 10.

Para se criar as *Breaklines* o procedimento foi:

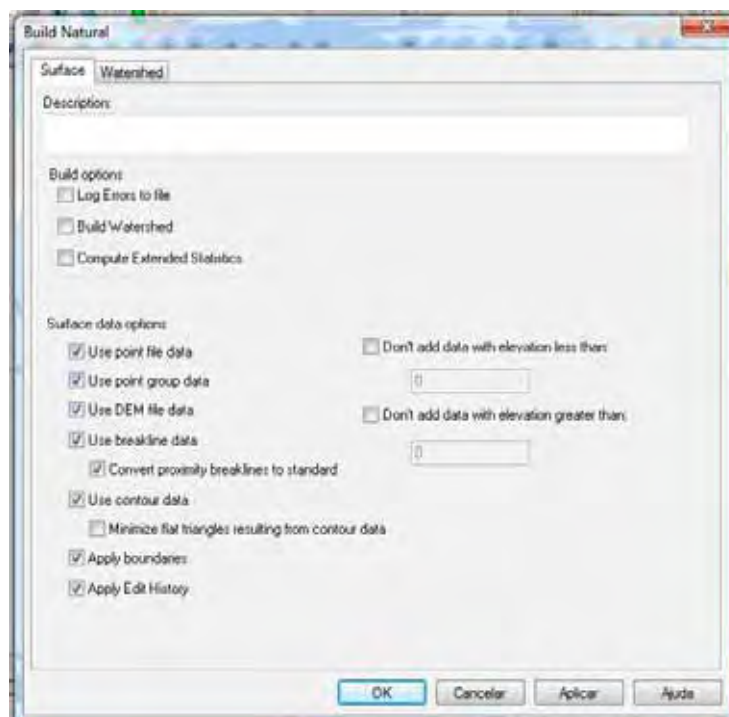
- Com o BD sobre o ícone *Breaklines* > *Define By Points* > um clique em cada ponto da *Breakline A*

Definidas as *Breaklines*, o próximo passo é o cálculo da superfície:

- BD sobre a pasta *Natural* > *Build....* A tela que se segue deve apresentar a configuração da Figura 11.



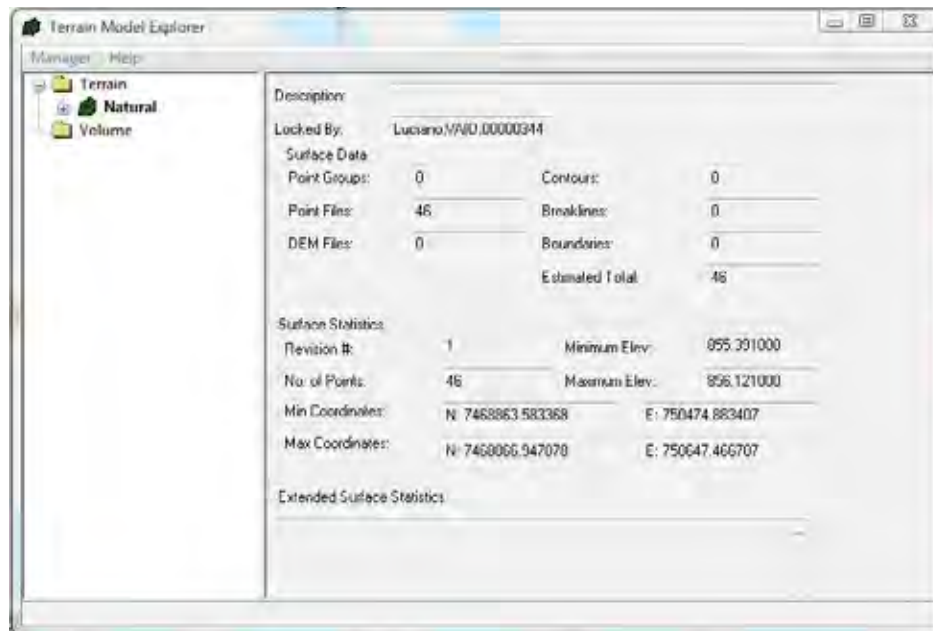
**Figura 10:** Posicionamento das *Breaklines* no modelo do canal.



**Figura 11:** Configuração da construção da superfície.

A Figura 12 apresenta as características da superfície calculada representada por dois painéis. O painel esquerdo traz a lista das superfícies construídas (no

caso só a superfície Natural foi criada) no projeto corrente. O direito descreve as características das superfícies.



**Figura 12:** Características da superfície calculada.

O modelo digital da superfície foi criado pelo método de interpolação TIN (*Triangular Irregular Networks*). Para visualizar a malha triangular criada, obedece-se a seguinte seqüência:

- BD no ícone *Natural* > *Surface Display* > *3D Faces...*

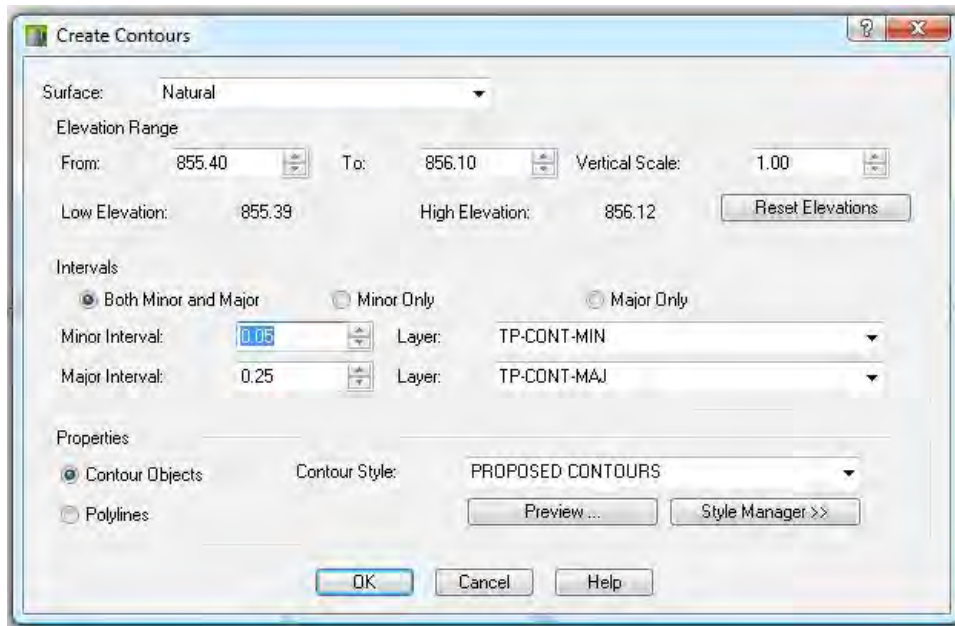
*Surface Display Settings* > *Ok* > *ENTER* > *ENTER*.

### 3.2.6.2 – Geração de curvas de nível

O desenho das curvas de nível dos canais será gerado a partir da camada *Natural*, seguindo a seqüência:

- *Terrain* > *Create Contours*.

A seguir, a caixa de diálogo para se criar curvas de nível (Figura 13) apresenta as características da superfície atual, como menor elevação (low elevation), maior elevação (high elevation), intervalo entre curvas, bem como serão desenhadas as curvas de nível.

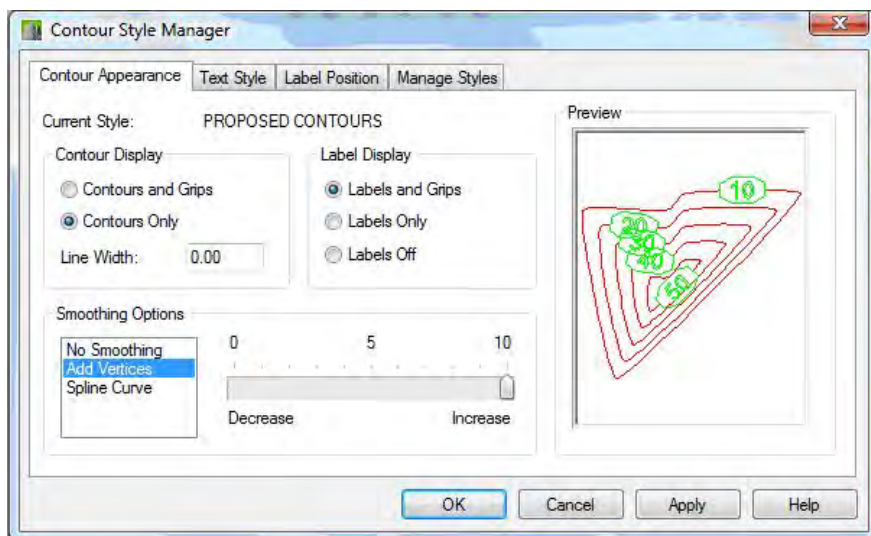


**Figura 13:** Janela para se criar curvas de nível.

A seção *Elevation Range* mostra as alturas mínima e máxima do canal.

A seção *Intervals* configura a distância vertical entre as curvas de nível. Na configuração apresentada, serão geradas curvas a cada cinco centímetros e a cada vinte e cinco haverá uma em destaque. As curvas serão geradas e serão criadas camadas (*layers*) diferentes para cada grupo de intervalos (uma layer para as curvas de 0,05 metros e outra para as layer de 0,25 metros)

As curvas de nível geradas pelo sistema LandDESKTOP apresentam inicialmente um traçado com angulações abruptas, na tentativa de gerar arquivos mais leves e conseqüentemente com menos pontos. Para suavizar o traçado das curvas é necessário um clique no ícone *Style Manager* e na aba *Contour Appearance*, de acordo com a Figura 14, onde é possível adicionar vértices, melhorando sua apresentação.



**Figura 14:** Curvas de nível com traçado suavizado

Para ratificar as alterações: *Apply > Ok > Ok > Enter > Enter*.

### 3.2.6.3 - Análise de terreno - mapa de elevações

Com a finalidade de caracterizar a área de acordo com intervalos de altitudes, o mapa de elevações subsidia tomadas de decisões importantes ao planejamento rural e ambiental, principalmente em situações de terrenos com limitações de aproveitamento devido a proximidade com rios, lagos e represas, para evitar edificações abaixo da cota de inundação.

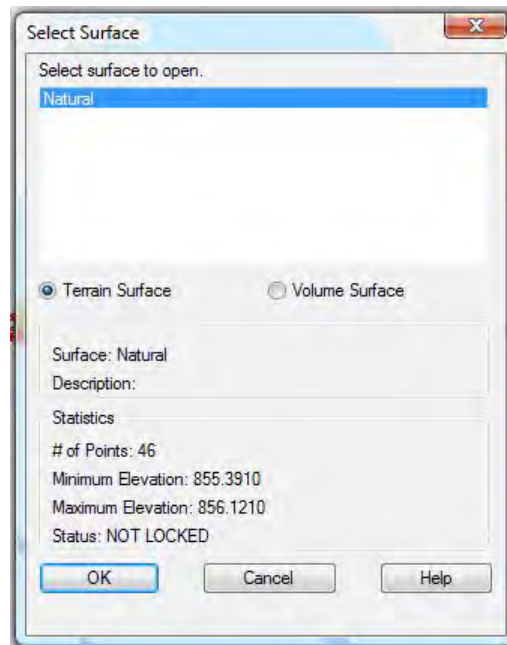
No caso do presente estudo, os mapas de elevações foram gerados para acompanhar o comportamento de canais gerados por dois métodos e em duas datas, definindo o período de um ano.

Para a geração do mapa de elevações, seguiu-se a seguinte seqüência:

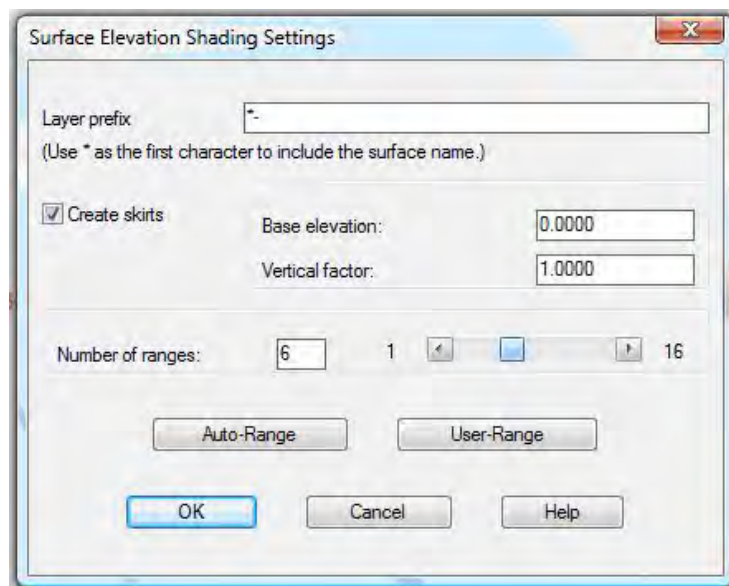
- *Terrain > Surface Display > Banding – 2D Solids...*

Na caixa de dialogo a *Select Surface* (Figura 15) se escolhe a superfície de referência para o mapa de elevações, no caso, a superfície “Natural”, até então única superfície criada. Para o objetivo final do trabalho, o cálculo de volumes admissível nos canais, foram criadas novas superfícies que serão apresentadas nos próximos tópicos desta metodologia.

A caixa de diálogo *Surface Elevation Shading Settings* permite a alteração do número de *Rangers*, que constituirão as camadas com intervalos de elevação, conforme a Figura 16.



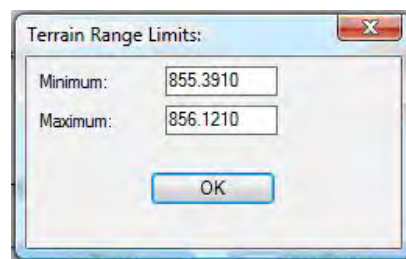
**Figura 15:** Seleção da superfície para o mapa de elevações.



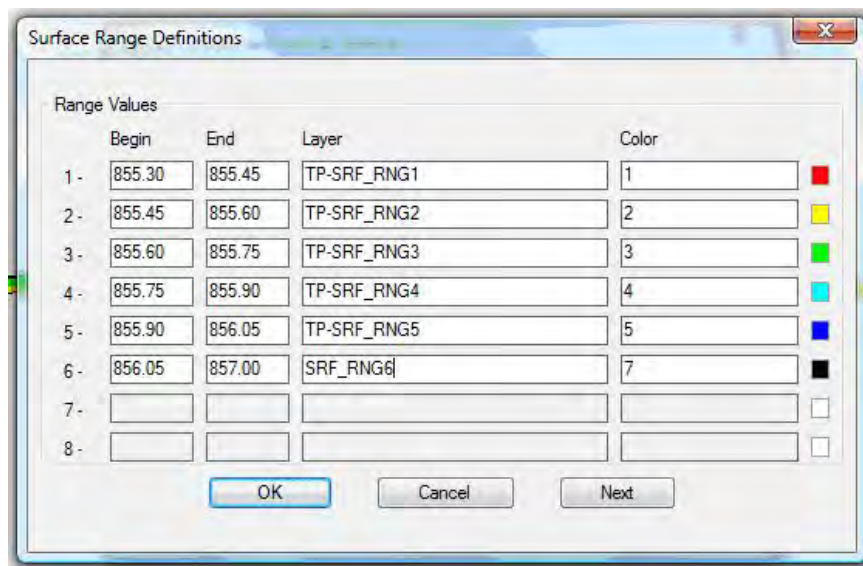
**Figura 16:** Definição do número de *Rangers*.

Com a superfície *Natural* foram determinados seis *Ranges* (intervalos) de 15 cm. para o mapa de elevações, pois a máxima variação altimétrica entre fundo do canal (cota 855,391) e camalhão (cota 856,121) foi de 73 cm. O valor inicial do primeiro intervalo deve ser inferior ao menor valor de cota do canal e o valor inicial do último intervalo deve ser inferior ao maior valor de cota do canal.

No ícone *Auto Range* inicialmente são apresentadas as cotas máximas e mínimas da superfície (Figura 17). Depois é possível definir o espaçamento (em cm.) entre camadas e definição de suas cores (Figura 18).

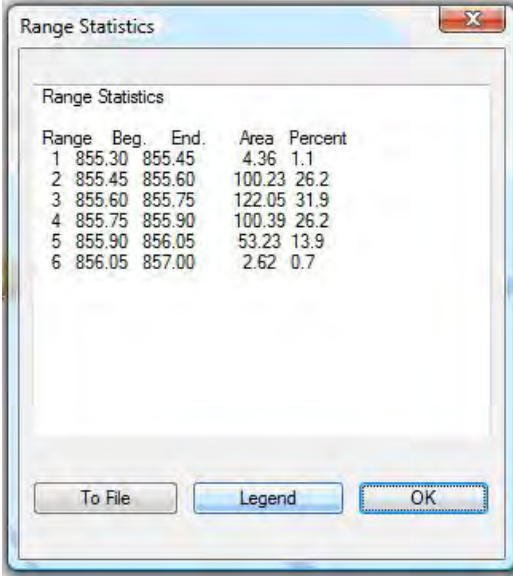


**Figura 17:** Cotas máxima e mínima da camada ativa



**Figura 18:** Escolha dos espaçamentos entre as camadas e definição de cores

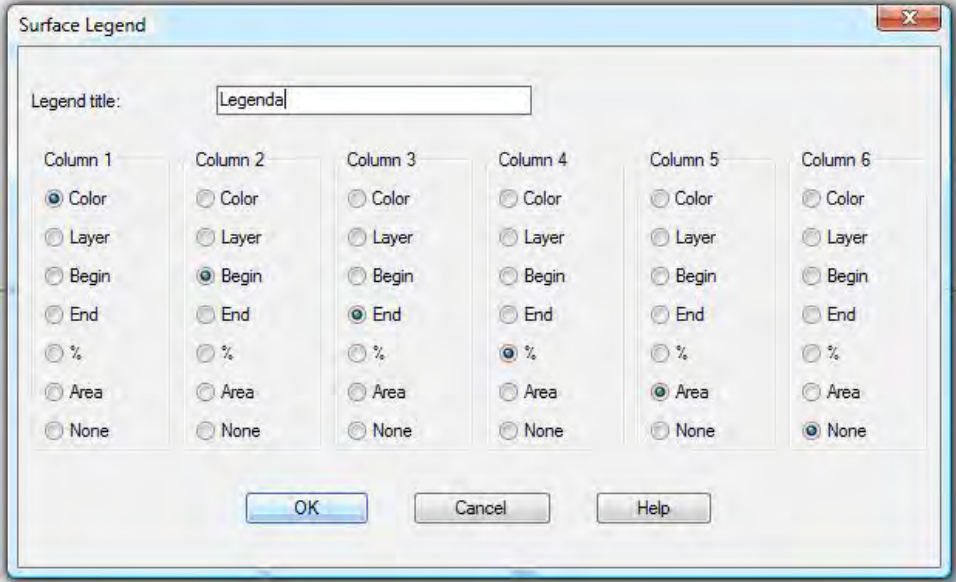
Próximo passo: *Ok* > *Ok* > *Enter* > *Enter*. A tela apresentada a seguir (Figura 19) é a legenda preliminar do mapa de elevações.



Range	Beg.	End.	Area	Percent
1	855.30	855.45	4.36	1.1
2	855.45	855.60	100.23	26.2
3	855.60	855.75	122.05	31.9
4	855.75	855.90	100.39	26.2
5	855.90	856.05	53.23	13.9
6	856.05	857.00	2.62	0.7

**Figura 19:** Preview da legenda.

Para editar essa legenda é necessário um clique no ícone *Legend*, que abre a caixa de diálogo a seguir (Figura 20), onde foram selecionadas informações de cor, cota inicial, cota final, porcentagem e área do intervalo de elevação.



Legend title:

Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5	Column 6
<input checked="" type="radio"/> Color	<input type="radio"/> Color	<input type="radio"/> Color	<input type="radio"/> Color	<input type="radio"/> Color	<input type="radio"/> Color
<input type="radio"/> Layer	<input type="radio"/> Layer	<input type="radio"/> Layer	<input type="radio"/> Layer	<input type="radio"/> Layer	<input type="radio"/> Layer
<input type="radio"/> Begin	<input checked="" type="radio"/> Begin	<input type="radio"/> Begin	<input type="radio"/> Begin	<input type="radio"/> Begin	<input type="radio"/> Begin
<input type="radio"/> End	<input type="radio"/> End	<input checked="" type="radio"/> End	<input type="radio"/> End	<input type="radio"/> End	<input type="radio"/> End
<input type="radio"/> %	<input type="radio"/> %	<input type="radio"/> %	<input checked="" type="radio"/> %	<input type="radio"/> %	<input type="radio"/> %
<input type="radio"/> Area	<input type="radio"/> Area	<input type="radio"/> Area	<input type="radio"/> Area	<input checked="" type="radio"/> Area	<input type="radio"/> Area
<input type="radio"/> None	<input type="radio"/> None	<input type="radio"/> None	<input type="radio"/> None	<input type="radio"/> None	<input checked="" type="radio"/> None

OK Cancel Help

**Figura 20:** Edição da legenda.

### 3.2.6.4 - Cálculo de volumes

Para o cálculo de volumes foram utilizados os recursos de terraplenagem do Land Desktop.

Os cálculos objetivando a obtenção do volume admissível nos canais foram realizados a partir do mesmo procedimento. Para tanto foram necessárias duas superfícies, uma equação, uma região de cálculo e um método, a seguir expostos.

As respostas obtidas da relação entre os valores de Cut (corte), que no caso do presente trabalho sempre foi zero e *Fill* (aterro), correspondem ao volume admissível em cada canal.

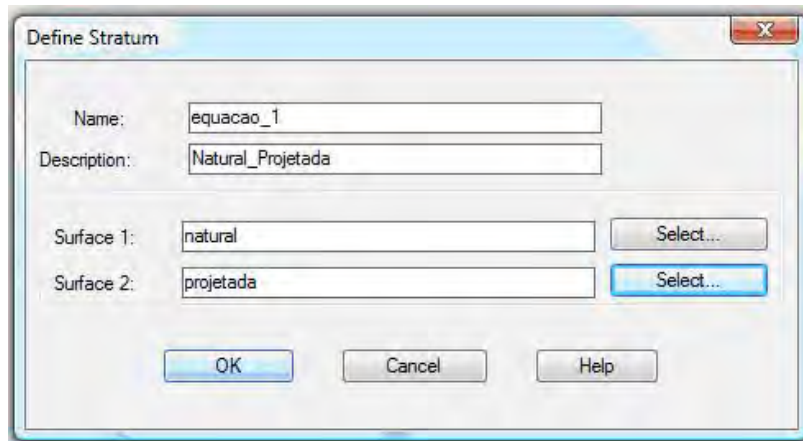
#### 3.2.6.4.1 - Criação da superfície projetada

Seguindo os passos do item 3.2.6.1, foi criada uma nova superfície, denominada *Projetada*, utilizando apenas os pontos base para as *Breaklines* “A” e “D”, ou seja, os pontos do relevo natural e do camalhão, a fim de representar uma hipotética “tampa” ao canal, para o cálculo de aterro.

Para facilitar a criação de duas superfícies, no arquivo base foram criadas duas camadas: uma com os pontos do fundo do canal e outra com os do relevo natural e do camalhão. Para a superfície *Natural* utilizaram-se as duas camadas. Já para a superfície *Projetada*, ocultou-se a camada com os pontos do fundo do canal, sendo utilizados apenas os pontos integrantes da camada do relevo natural e camalhão.

#### 3.2.6.4.2 - Equação de comparação de superfícies

A equação (*Stratum*) de comparação das superfícies serve para informar o programa como proceder o cálculo de movimento de terra. Os passos para a criação da equação são: - *Terrain > Select Current Stratum...* Figura 21

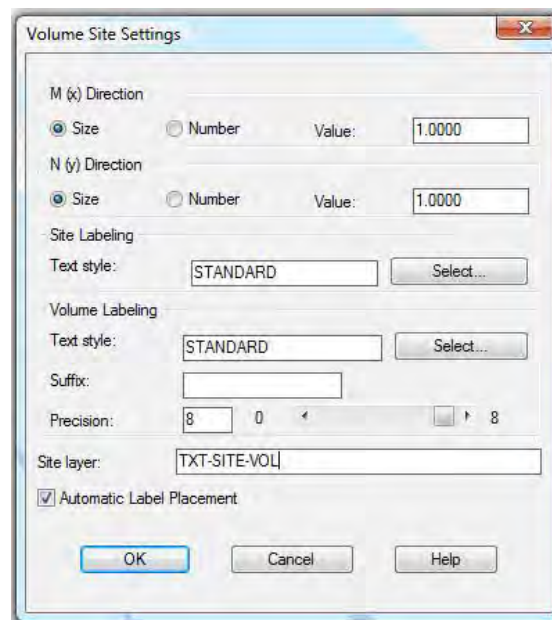


**Figura 21:** Criação de equação de comparação de superfícies.

### 3.2.6.4.3 - Região de cálculo do volume

É necessário definir o local para a realização do cálculo de corte e aterro. Isso se deve ao fato do programa calcular vários cortes e aterros em grandes projetos. Como o intuito deste trabalho é o cálculo de volume no canal inteiro, os limites do *Site* serão os limites do canal.

- *Terrain* > *Site Definition* > *Site Settings...* Figura 22



**Figura 22:** Configuração da região de cálculo de volume.

- *Terrain* > *Site Definition* > D*efine Site...*

- *Comand:*

*Rotation angle* <0d0'00''> > Enter;

*Site base point:* Selecionar um ponto abaixo e à esquerda do canal (utilizar F3);

*Grid M size:* 0,05;

*Grid N size:* 0,05;

*Upper right corner:* selecione um ponto acima e à direita, englobando todo o canal;

Enter > Enter;

*Site Name:* Canal\_1;

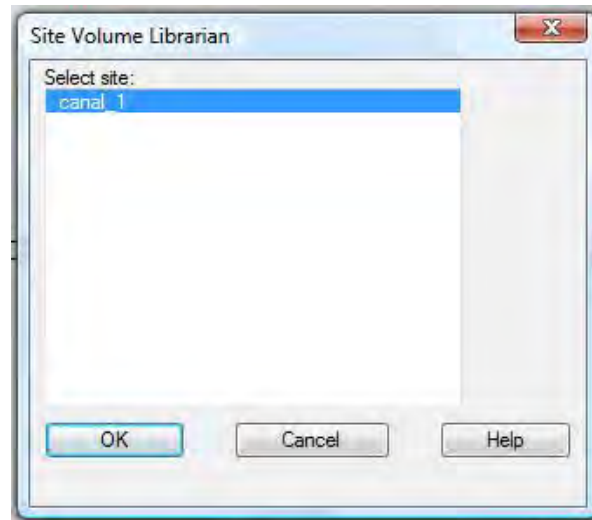
Enter.

Seguindo a seqüência acima descrita foi criada uma malha (*Grid*) de interpolação de 5 cm entre os triângulos (interpolação pelo método *TIN*) ao longo do canal. A malha de 5 cm foi a de menor valor, considerando a capacidade de processamento do computador utilizado, conferindo maior precisão ao posterior cálculo de volumes.

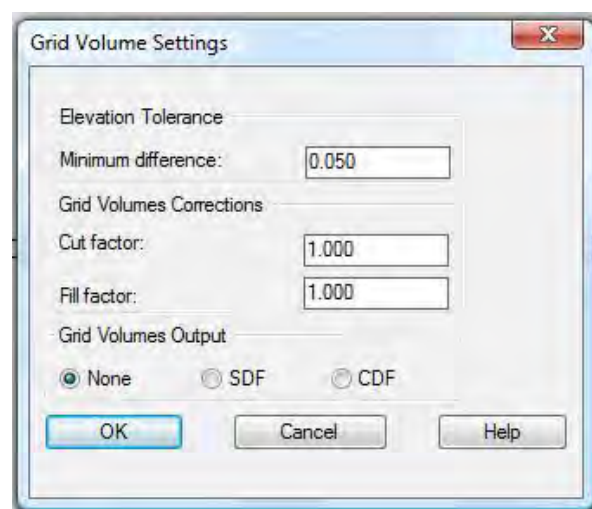
#### **3.2.6.4.4 - Cálculo por GRID**

O cálculo de volume pode ser realizado por seções e por *Grid*, sendo este o que fornece o resultado de maneira mais rápida e precisa. Para executar o cálculo, o programa cria prismas de base retangular entre as duas superfícies, *Natural* e *Projetada*, formando uma superfície intermediária, conforme a seqüência: escolha do *Site* para o cálculo, configuração do cálculo e relatório do cálculo de volumes, apresentada nas Figuras 23 , 24 e 25

*Terrain* > G*rid Volumes* > *Calculate* T*otal Site Volume...* Figuras 23 e 24.

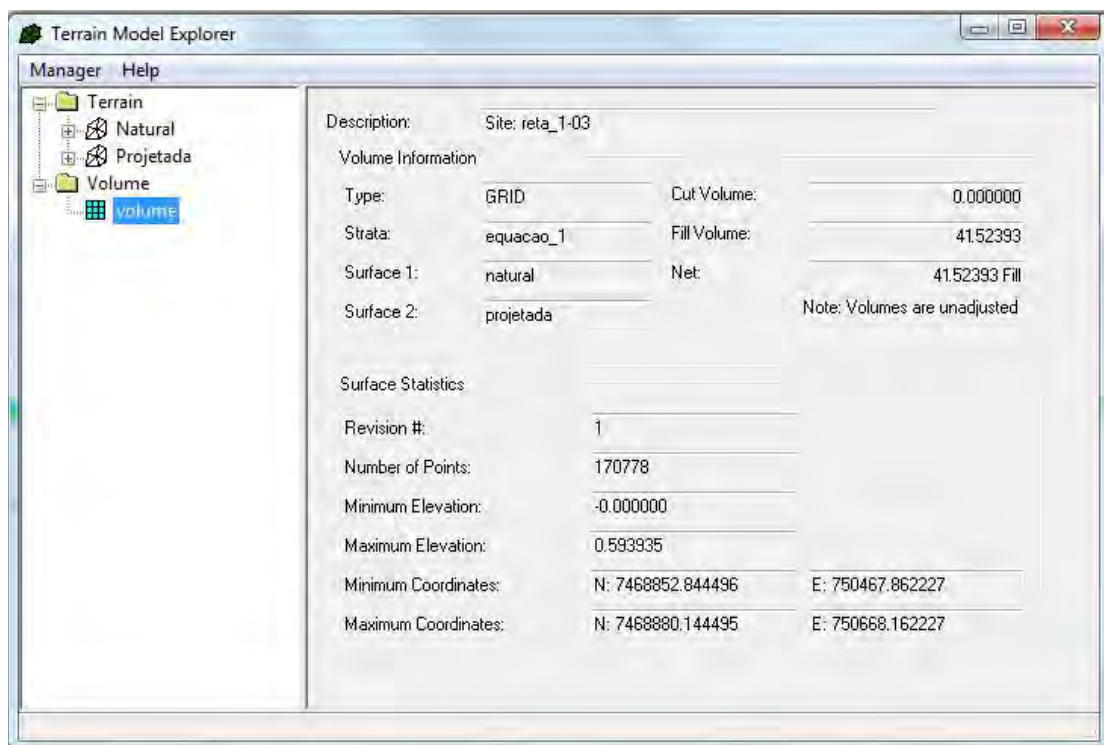


**Figura 23:** Escolha do *Site* para o cálculo.



**Figura 24:** Configuração do cálculo.

- *New Surface*: volume > Enter > Figura 25.



**Figura 25:** Relatório do cálculo de volumes.

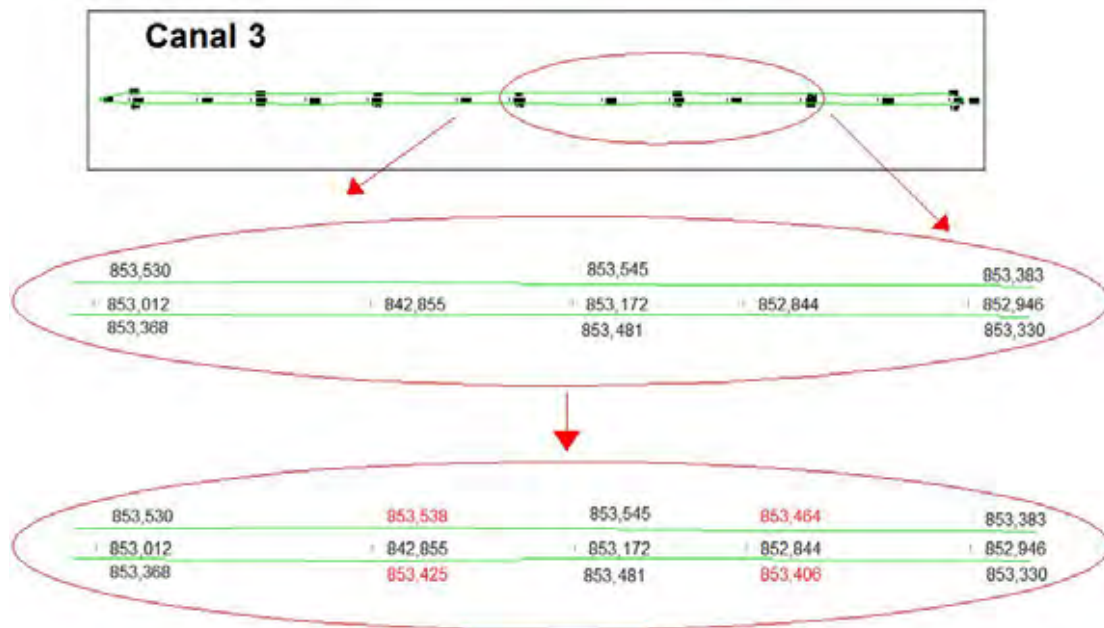
Como pode ser observado o valor do corte (*Cut Volume*) é zero e o valor do aterro (*Fill Volume*) é de 41,52393 m<sup>3</sup> que correspondia à capacidade do canal 01 acumular água de chuvas quando do levantamento topográfico inicial.

### 3.2.7. Refinamento do banco de dados inicial

Nos levantamentos a campo, além das leituras nas estacas colocadas conforme exposto no item 3.2.2, ao longo de cada cordão de contorno e apenas no fundo do canal, foram tomadas leituras no espaço entre cada duas estacas (estacas B, conforme Figura 2), a fim de representar com mais fidelidade o aporte de sedimentos.

Processamentos preliminares com o modelo de interpolação utilizado (TIN) revelaram que a distribuição regular de pontos proporciona modelagem numérica do terreno mais realista. Assim, para camalhão e relevo natural, foram calculadas por interpolação matemática simples, cotas intermediárias entre as estacas amostradas, conforme ilustra a Figura 26, o que foi possível uma vez que os cordões foram locados em nível.

Após a inserção dos pontos intermediários por interpolação matemática simples, os dados foram novamente submetidos ao Land DESKTOP 2009, onde foram criadas novas superfícies, para a geração de mapas planialtimétricos, elevação, e foi realizado novo cálculo de volumes admissíveis nos canais.



**Figura 26:** Pontos inseridos por interpolação matemática (em vermelho e negrito) entre estacas medidas no campo.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Dados comparados**

A partir da metodologia adotada, foram realizadas duas comparações: entre canais elaborados com dados de diferentes épocas (tratamento inicial - época 1 e decorrido um ano - época - 2) e entre canais elaborados com dados de mesma época (banco de dados inicial e com inserção de pontos por interpolação matemática simples).

### **4.2 - Apresentações das plantas planialtimétricas**

A geração de curvas de nível pelo *software* LandDESKTOP possibilitou a visualização da conformação geral dos canais. Através das representações planialtimétricas, utilizando equidistância vertical entre curvas de 0,10 m., foi possível constatar que ocorreram alterações no formato do canal no período de um ano, visíveis pela variação do traçado das isolinhas. Constatou-se também que ocorreram pequenas alterações no formato do canal, quando comparados mapas oriundos do banco de dados inicial e após a inserção de pontos (dados da mesma época).

Apesar de a comparação visual permitir inferir que ocorreu variação do formato do canal e assim alterando sua capacidade de acúmulo de água de enxurradas, não foi possível quantificar essa variação em volume, apoiando-se apenas nos dados de planialtimetria.

Cogitou-se diminuir o valor da equidistância vertical das curvas, visando melhorar a comparação, mas a representação ficaria com excesso de traçados, não colaborando com o intuito principal do trabalho. Apesar de pouca valia no que tange comparação visual, julgou-se conveniente a inclusão dessa representação a fim de apresentar todas as etapas seguidas para a obtenção das conclusões, como pode ser observado no Mapa 1.

Mesmo considerando a impossibilidade da comparação da determinação do volume apoiado apenas nos dados de planialtimetria, esta etapa foi considerada de grande valia no que tange progressos alcançados na modelagem dos dados. Inúmeras tentativas foram realizadas em vão, pois a qualidade do banco de dados inicial era parca em relação ao estudo proposto, ou seja, determinação da capacidade de acúmulo de enxurrada em canais apoiando-se em modelagem numérica de superfície. Os pontos de coleta de dados de campo estavam muito espaçados, e a variação altimétrica a ser comparada era de pequena monta, e em alguns trechos quase que imperceptíveis. Os métodos de interpolação utilizados até então, dadas as condições acima citadas, não representavam a realidade do canal. Um raciocínio simplista implicaria na sugestão de um novo levantamento de dados básicos para o processamento da modelagem proposta, todavia, quando tal dificuldade foi constatada, o referido estudo estava sendo desenvolvido nos Departamentos de Geologia e de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, inviabilizando totalmente qualquer alternativa de realizar um novo levantamento de dados, visto que esta etapa foi desenvolvida no Brasil.



MAPA 1: Mapas planialtimétricos - Escala 1 : 400  
Curvas com equidistância vertical de 0,10 metros

Em contrapartida, o desafio para gerar um modelo apoiado em um banco de dados insuficiente, incentivou estudos para a criação de alternativas e artifícios visando o objetivo final, ou seja, o cálculo de volumes em canais de cordões de contorno nivelados. Durante esses estudos, a ferramenta *breakline* ou linhas de quebra se constituíram condição indispensável para a geração da modelagem numérica do terreno. Através das *breaklines* foi possível definir linhas limites para a interpolação, e mesmo nos casos em que os pontos a serem interpolados estavam muito distantes, a técnica utilizada permitiu que o modelo numérico do terreno representasse com fidelidade a realidade de campo.

Ressalta-se que o levantamento topográfico que originou o banco de dados inicial seguiu critérios compatíveis com a representação de áreas com variações altimétricas. O presente projeto adequou esses dados para o estudo de cordões de contornos nivelados, prescindindo de um novo levantamento mais criterioso a fim de representar as variações ocasionadas pelo desgaste do relevo natural, acúmulo de sedimentos no canal e empolamento do camalhão.

A melhor comparação dos resultados pode ser acompanhada nas etapas a seguir apresentadas.

#### **4.3 – Comparações entre os mapas de elevação**

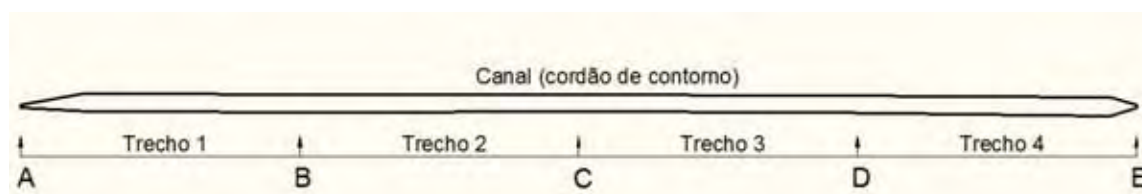
Foram geradas quatro representações gráficas para cada canal, sendo dois tratamentos (banco de dados inicial e com inserção de pontos) e duas épocas distintas (com intervalo de um ano).

Nos quatro canais estudados, foram definidos seis intervalos de elevação, identificados com cores e calculados equitativamente em função da maior e menor cota de cada canal com intuito de manter a amplitude entre cotas, facilitando as comparações propostas, conforme Tabela 1.

**Tabela 1:** Representação das cores e intervalos correspondentes.

Cores	Intervalos
■ - Vermelho	..... 1
■ - Amarelo	..... 2
■ - Verde	..... 3
■ - Azul	..... 4
■ - Roxo	..... 5
■ - Preto	..... 6

Visando a comparação, os canais também foram divididos em quatro trechos iguais (trechos 1, 2, 3 e 4) entre os pontos A, B, C, D e E, conforme pode ser visualizado na Figura 27 que esquematicamente ilustra o procedimento.



**Figura 27:** Representação esquemática da divisão dos canais para comparação

#### 4.3.1 – Comparações entre os canais da mesma época.

A finalidade desta comparação foi verificar a validade da inserção de cotas através de interpolação matemática para relevo natural e camalhão dos cordões, nos locais onde a leitura de campo só ocorreu no interior do canal.

Nas comparações realizadas, ocorreram alterações do formato do canal nos pontos A e E. O formato dos canais que inicialmente afinava nas extremidades, após a inserção de pontos visando melhorar a qualidade do modelo, apresentaram formato tendendo ao retangular. Tal alteração ocorreu em todos os canais que sofreram o tratamento de inserção de pontos.

A comparação entre valores de áreas de intervalos de elevação nos quatro canais em mesma época permitiu constatar que a distribuição regular de pontos proporcionada pela inserção de cotas através de interpolação matemática proporcionou variações de área ente os tratamentos, conforme apresentado nos tópicos a seguir. Ressalte-se que conforme Sequeira (2006) uma das principais dificuldades na criação de modelos

digitais de elevação é a obtenção de valores o mais aproximado possível dos valores reais do terreno. Gomes et al. (2001) constataram que a qualidade de representações planialtimétricas de áreas depende da distribuição racional de pontos amostrais.

#### 4.3.1.1 – Canal 1 – época 1.

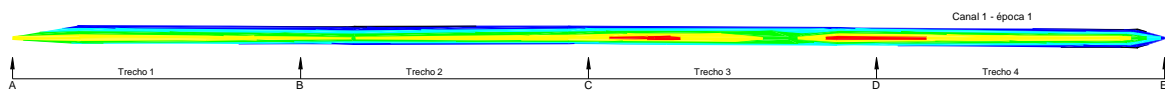
O canal 1 – época 1 (Mapa 2) apresenta intervalos de elevação de 0,15 metros. Contatou-se nesse canal que 80,7% de sua área se encontra entre as cotas 855,45 e 855,90. Com a inserção de pontos, esse valor foi para 79,1%, todavia os valores dos intervalos quando comparados individualmente apresentaram alteração maior.

O canal 1 com a inserção de pontos apresentou a menor e a maior variação de área respectivamente nos intervalos de elevação 1 e 2, com valores de 0,1 e 1,5% de redução de área. No intervalo 3 houve diminuição de 1,2 % de área. Os intervalos 4 e 5 apresentaram comportamento semelhante de aumento de área (entre 1,1 e 1,2%). Já no intervalo 6 ocorreu aumento de 0,5% de área, como pode ser observado no detalhamento da Tabela 2:

**Tabela 2:** Comparação das porcentagens de área do Canal 1 – época 1

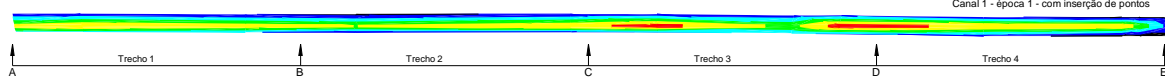
Intervalos	Elevações (metros)	Porcentagens da área		Diferença A – B
		Banco de dados inicial (A)	Com inserção de pontos (B)	
1	855,30 – 855,45	3,0	2,9	0,1
2	855,45 – 855,60	27,7	26,2	1,5
3	855,60 – 855,75	28,0	26,8	1,2
4	855,75 – 855,90	25,0	26,1	-1,1
5	855,90 – 856,05	15,4	16,6	-1,2
6	856,05 – 857,00	0,9	1,4	-0,5

- A – B – Diferença entre valores do canal com inserção de pontos e do canal com banco de dados inicial. Valores positivos indicam redução e valores negativos aumento da porcentagem de área no intervalo de elevação.



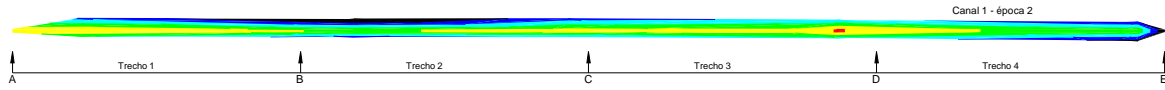
Legenda

Cor	Intervalos de elevação (cotas - metros)	Porcentagem (%)	Área (m²)
1	855.30 - 855.45	3.0	13.61
2	855.45 - 855.60	27.7	124.05
3	855.60 - 855.75	28.0	125.93
4	855.75 - 855.90	25.0	112.24
5	855.90 - 856.05	15.4	69.35
6	856.05 - 857.00	0.9	4.19



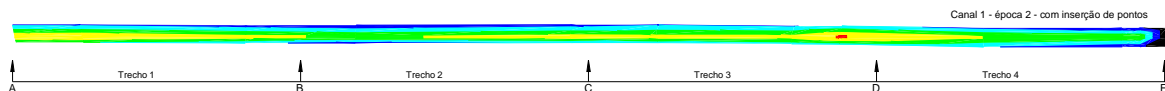
Legenda

Cor	Intervalos de elevação (cotas - metros)	Porcentagem (%)	Área (m²)
1	855.30 - 855.45	2.9	13.67
2	855.45 - 855.60	28.2	123.40
3	855.60 - 855.75	26.8	126.28
4	855.75 - 855.90	26.1	122.87
5	855.90 - 856.05	16.6	78.08
6	856.05 - 857.00	1.4	6.73



Legenda

Cor	Intervalos de elevação (cotas - metros)	Porcentagem (%)	Área (m²)
1	855.30 - 855.45	0.2	0.73
2	855.45 - 855.60	20.6	92.25
3	855.60 - 855.75	35.4	159.13
4	855.75 - 855.90	27.7	124.89
5	855.90 - 856.05	11.7	52.73
6	856.05 - 857.00	4.4	19.83



Legenda

Cor	Intervalos de elevação (cotas - metros)	Porcentagem (%)	Área (m²)
1	855.30 - 855.45	0.2	0.74
2	855.45 - 855.60	20.4	96.27
3	855.60 - 855.75	37.9	178.66
4	855.75 - 855.90	30.7	144.43
5	855.90 - 856.05	9.7	45.92
6	856.05 - 857.00	1.1	5.01

MAPA 2: Mapas de elevações do Canal 1 - Escala 1 : 400

A comparação dos mapas de elevações do canal 1 - época 1 não apresentou grandes divergências visuais, sendo notado um aumento da cor roxa, representando o intervalo 5, entre os trechos C e D no tratamento com inserção de pontos, conforme Mapa 2.

#### 4.3.1.2 – Canal 1 – época 2.

Comportamento semelhante foi verificado no Canal 1 – época 2 (Mapa 2), quando comparado ao Canal 1 – época 1, com predomínio das porcentagens de área entre as cotas 855,45 e 855,90, porém a variação entre os tratamentos do banco de dados inicial e com inserção de pontos foi elevada, com valores de 83,7 e 89% respectivamente.

O intervalo 1 não apresentou variação com a inserção de cotas. O intervalo 2 apresentou pequena redução de área. Já entre os intervalos 3 e 4 ocorreu aumento de 2,5 e 3%, inversamente ao que ocorreu entre os intervalos 5 e 6 tiveram sua porcentagem de área reduzida em 2 e 3,3% respectivamente, como pode ser observado no detalhamento da Tabela 3:

**Tabela 3:** Comparação das porcentagens de área do Canal 1 – época 2

Intervalos	Elevações (metros)	Porcentagens da área		Diferença A – B
		Banco de dados inicial (A)	Com inserção de pontos (B)	
1	855,30 – 855,45	0,2	0,2	0
2	855,45 – 855,60	20,6	20,4	0,2
3	855,60 – 855,75	35,4	37,9	-2,5
4	855,75 – 855,90	27,7	30,7	-3
5	855,90 – 856,05	11,7	9,7	2
6	856,05 – 857,00	4,4	1,1	3,3

- A – B – Diferença entre valores do canal com inserção de pontos e do canal com banco de dados inicial. Valores positivos indicam redução e valores negativos aumento da porcentagem de área no intervalo de elevação.

Nos mapas de elevações do Canal 1 – época 2 a inserção de pontos proporcionou a extinção da cor preto (intervalo 6) no trecho 2, principalmente nas proximidades do ponto B, constatado pela redução de 3,3% da área do canal nesse intervalo, como pode ser observado no Mapa 2.

#### 4.3.1.3 – Canal 2 – época 1.

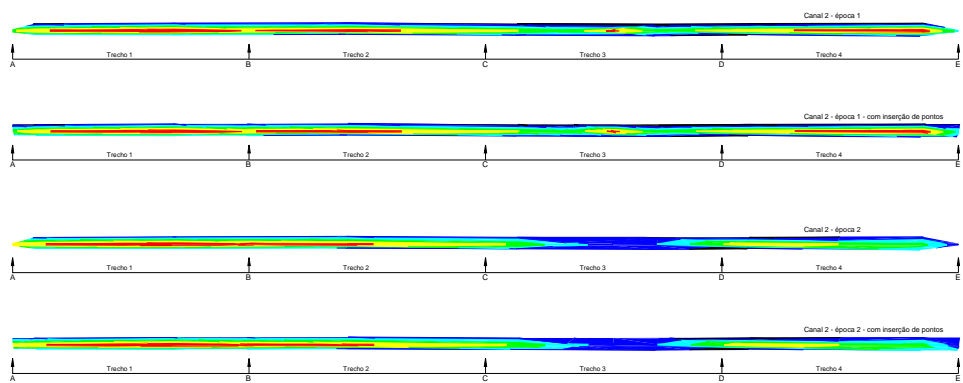
O canal 2 (Mapa 3) apresenta intervalos com 0,12 m. Na época 1, esse canal foi o que menos apresentou variação de áreas com a inserção de pontos. No canal gerado a partir do banco de dados inicial, a maior área se encontra entre os intervalos 2 e 4 com 65,7% e no canal gerado com inserção de pontos o valor encontrado no mesmo intervalo foi de 65,8.

Os intervalos 1 e 2 apresentaram comportamento igual, com a redução de 0,2% de sua área com a inserção de pontos. Nos intervalos 3 e 4 foi constatado aumento de 0,1 e 0,2% respectivamente. Já nos intervalos 5 e 6 ocorreu a maior variação, apesar de considerada de pequena monta, com aumento de 0,5% para o intervalo 5 e redução de 0,4 para o intervalo 6, como pode ser observado no detalhamento da Tabela 4.

**Tabela 4:** Comparação das porcentagens de área do Canal 2 – época 1

Intervalos	Elevações (metros)	Porcentagens da área		Diferença A – B
		Banco de dados inicial (A)	Com inserção de pontos (B)	
1	854,15 – 854,27	12,1	11,9	0,2
2	854,27 – 854,39	21	20,8	0,2
3	854,39 – 854,51	23,2	23,3	-0,1
4	854,51 – 854,63	21,5	21,7	-0,2
5	864,63 – 854,75	16,6	17,1	-0,5
6	854,75 – 855,00	5,6	5,2	0,4

- A – B – Diferença entre valores do canal com inserção de pontos e do canal com banco de dados inicial. Valores positivos indicam redução e valores negativos aumento da porcentagem de área no intervalo de elevação.



**Legenda**

Cor	Intervalo de elevação (cotas - máximas)	Porcentagem (%)	Área (m <sup>2</sup> )
1	854.15 - 854.27	12.1	69.25
2	854.27 - 854.39	21.9	132.27
3	854.39 - 854.51	21.5	131.08
4	854.51 - 854.63	21.5	130.13
5	854.63 - 854.75	16.5	93.35
6	854.75 - 855.00	5.6	27.51

**Legenda**

Cor	Intervalo de elevação (cotas - máximas)	Porcentagem (%)	Área (m <sup>2</sup> )
1	854.15 - 854.25	17.8	99.66
2	854.27 - 854.39	20.8	104.39
3	854.39 - 854.51	23.3	130.06
4	854.51 - 854.63	21.7	108.72
5	854.63 - 854.75	17.1	90.05
6	854.75 - 855.00	5.2	25.92

**Legenda**

Cor	Intervalo de elevação (cotas - máximas)	Porcentagem (%)	Área (m <sup>2</sup> )
1	854.15 - 854.25	8.8	47.02
2	854.27 - 854.39	17.8	95.90
3	854.39 - 854.51	22.5	114.63
4	854.51 - 854.63	24.1	117.75
5	854.63 - 854.75	24.3	118.85
6	854.75 - 855.00	1.2	6.35

**Legenda**

Cor	Intervalo de elevação (cotas - máximas)	Porcentagem (%)	Área (m <sup>2</sup> )
1	854.15 - 854.27	9.3	47.80
2	854.27 - 854.39	17.3	89.97
3	854.39 - 854.51	23.4	117.13
4	854.51 - 854.63	24.9	129.00
5	854.63 - 854.75	24.5	122.74
6	854.75 - 855.00	1.6	7.92

MAPA 3: Mapas de elevações do Canal 2 - Escala 1:400

Nos mapas de elevações, foram constatadas apenas pequenas alterações, principalmente nas cores azul e preta (intervalos 4 e 6), na parte média do trecho 3, proporcionado pela mínima variação de área entre os tratamentos, conforme Mapa 3.

#### 4.3.1.4 – Canal 2 – época 2.

O Canal 2 – época 2 (mapa 3) também apresentou pouca variação com a inserção de pontos, tendo sua maior área entre os intervalos 3 e 5, com 71,9% de área no canal baseado no banco de dados inicial e 72,8% no tratamento com inserção de pontos. Também para o Canal 2 – época 01, todas as variação de área entre os tratamentos foram inferiores à 1%.

Nos intervalos 1, 2 e 3 ocorreram reduções de 0,3, 0,5 e 0,1% de área, respectivamente. Já no intervalo 4, foi constatado o maior valor de aumento de área, com 0,8%. O aumento, porém com menor intensidade, também ocorreu no canal 5, com 0,2%. O intervalo 6 apresentou comportamento igual ao intervalo 3, com redução de 0,1% de área, conforme Tabela 5.

Os mapas de elevações apresentaram pequenas alterações entre a parte central do trecho 3 e o ponto C, representados pelas cores azul e roxo (intervalos 4 e 5), como pode ser observado no Mapa 3.

**Tabela 5:** Comparação das porcentagens de área do Canal 2 – época 2

Intervalos	Elevações (metros)	Porcentagens da área		Diferença A – B
		Banco de dados inicial (A)	Com inserção de pontos (B)	
1	854,15 – 854,27	8,6	8,3	0,3
2	854,27 – 854,39	17,8	17,3	0,5
3	854,39 – 854,51	23,5	23,4	0,1
4	854,51 – 854,63	24,1	24,9	-0,8
5	864,63 – 854,75	24,3	24,5	-0,2
6	854,75 – 855,00	1,7	1,6	0,1

- A – B – Diferença entre valores do canal com inserção de pontos do canal e banco de dados inicial. Valores positivos indicam redução e valores negativos aumento da porcentagem de área no intervalo de elevação.

#### 4.3.1.5 – Canal 3 – época 1.

O Canal 3 (mapa 4) apresenta intervalos de 0,14 m. Na época 1 o predomínio de área foi constatada entre os intervalos 2 e 4, com 79,5% para o tratamento inicial e 78% para o canal com inserção de pontos.

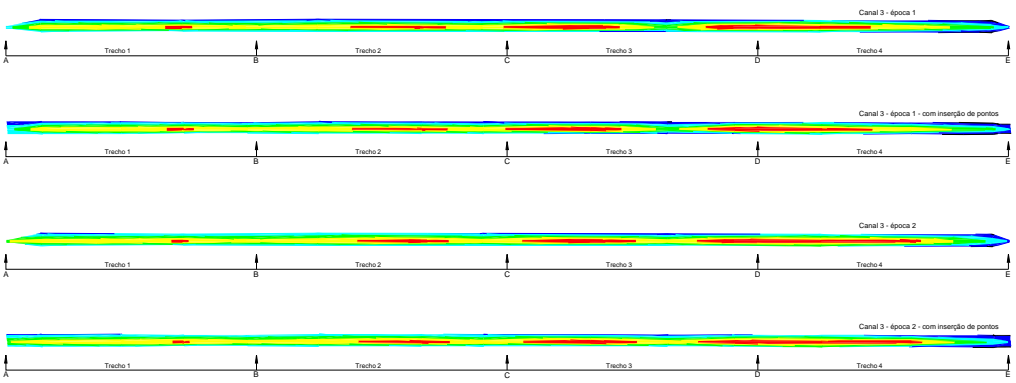
O intervalo 1 apresentou redução de 0,5% de área. Nos intervalos 2 e 3 a redução foi semelhante, com 1,1 e 1,2%, respectivamente. No intervalo 4 ocorreu aumento de 0,8%, e no intervalo 5 foi verificado o maior aumento de área, com 2%. O intervalo 6 não apresentou variação, conforme detalhamento da Tabela 6.

**Tabela 6:** Comparação das porcentagens de área do Canal 3 – época 1

Intervalos	Elevações (metros)	Porcentagens da área		Diferença A – B
		Banco de dados inicial (A)	Com inserção de pontos (B)	
1	852,84 – 852,98	10	9,5	0,5
2	852,98 – 853,12	28,6	27,5	1,1
3	853,12 – 853,26	26,6	25,4	1,2
4	853,26 – 853,40	24,3	25,1	-0,8
5	853,40 – 853,54	9,9	11,9	-2
6	853,54 – 854,68	0,6	0,6	0

- A – B – Diferença entre valores do canal com inserção de pontos do canal e banco de dados inicial. Valores positivos indicam redução e valores negativos aumento da porcentagem de área no intervalo de elevação.

Os mapas de elevações apresentaram variações com redução da cor vermelha (intervalo 1) nas proximidades do ponto D e aumento da cor roxa nas proximidades das extremidades dos canais (pontos A e E) e na parte média do trecho 3 (Mapa 4).



Legenda

Cor	Intervalo de elevação (cotas - metros)	Porcentagem (%)	Área (m²)
1	852.84 - 852.98	10,0	52,56
2	852.98 - 853.12	29,6	149,05
3	853.12 - 853.26	29,6	139,34
4	853.26 - 853.40	24,2	121,71
5	853.40 - 853.54	9,9	52,09
6	853.54 - 854.68	0,6	3,18

Legenda

Cor	Intervalo de elevação (cotas - metros)	Porcentagem (%)	Área (m²)
1	852.84 - 852.98	9,2	51,20
2	852.98 - 853.12	27,5	146,89
3	853.12 - 853.26	25,4	126,54
4	853.26 - 853.40	25,1	133,94
5	853.40 - 853.54	11,8	63,54
6	853.54 - 854.68	0,6	3,44

Legenda

Cor	Intervalo de elevação (cotas - metros)	Porcentagem (%)	Área (m²)
1	852.84 - 852.98	11,6	60,38
2	852.98 - 853.12	32,2	168,87
3	853.12 - 853.26	29,0	150,73
4	853.26 - 853.40	23,2	121,28
5	853.40 - 853.54	4,0	20,74
6	853.54 - 854.68	0,1	0,43

Legenda

Cor	Intervalo de elevação (cotas - metros)	Porcentagem (%)	Área (m²)
1	852.84 - 852.98	10,0	52,56
2	852.98 - 853.12	30,8	155,52
3	853.12 - 853.26	26,3	131,86
4	853.26 - 853.40	24,1	123,71
5	853.40 - 853.54	1,5	7,40
6	853.54 - 854.68	0,4	2,01

MAPA 4: Mapas de elevações do Canal 3 - Escala 1:400

#### 4.3.1.6 – Canal 3 – época 2.

No Canal 3 – época 2 (Mapa 4) ocorreu redução de área nos três primeiros intervalos e aumento nos últimos três, com predomínio absoluto de áreas entre os intervalos 2 e 4, sendo de 84,4% de área nos canal oriundo do banco de dados inicial e 83,2% no canal com inserção de pontos.

Nos intervalos 1, 2 e 3 ocorreu redução de áreas na ordem de 0,6, 1,4 e 0,7%. Já nos intervalos 4, 5 e 6 o aumento de área foi na ordem de 0,9, 1,5 e 0,3%, respectivamente, conforme a Tabela 7.

**Tabela 7:** Comparação das porcentagens de área do Canal 3 – época 2

Intervalos	Elevações (metros)	Porcentagens da área		Diferença A – B
		Banco de dados inicial (A)	Com inserção de pontos (B)	
1	852,84 – 852,98	11,5	10,9	0,6
2	852,98 – 853,12	32,2	30,8	1,4
3	853,12 – 853,26	29	28,3	0,7
4	853,26 – 853,40	23,2	24,1	-0,9
5	853,40 – 853,54	4	5,5	-1,5
6	853,54 – 854,68	0,1	0,4	-0,3

- A – B – Diferença entre valores do canal com inserção de pontos do canal e banco de dados inicial. Valores positivos indicam redução e valores negativos aumento da porcentagem de área no intervalo de elevação.

Os mapas de elevações apresentaram bastante semelhança. As únicas variações constatadas foram as reduções do roxo (intervalo 5) entre o terço final do trecho 2 e o ponto D, e do amarelo no terço final do trecho 4, conforme Mapa 4.

#### 4.3.1.7 – Canal 4 – época 1.

No Canal 4 os intervalos são de 0,15 m. Na época 1 ocorre a presença de 79% de área entre os intervalos 2 e 4 no tratamento apoiado no banco de dados inicial, valor que decresce para 76,2% com a inserção de pontos no canal para realizar a modelagem.

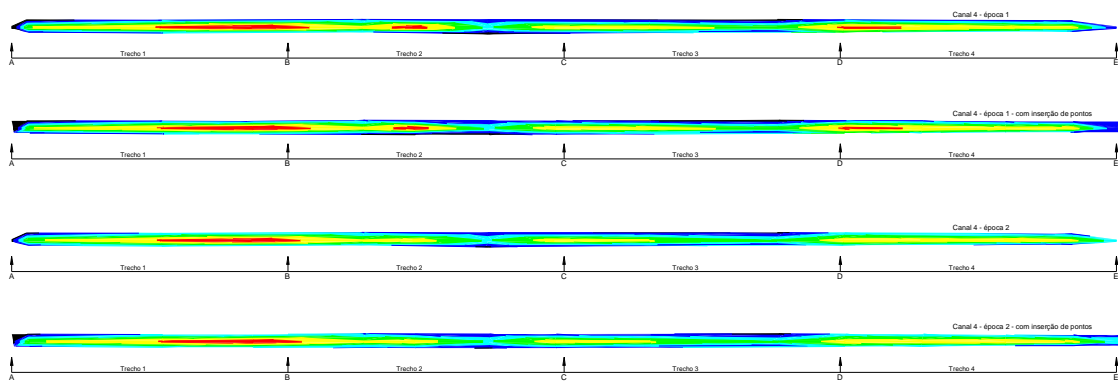
Individualmente os intervalos se comportaram com redução do valor da área nos intervalos de 1 a 4 e aumento nos intervalos 5 e 6. Nos intervalos 1 e 4 a redução de área foi igual, com valor de 0,3%, Nos intervalos 2 e 3 a redução foi muito semelhante, com valores de 1,3 e 1,2% respectivamente. Aumento considerável de área ocorreu no intervalo 5, com o valor de 2,5%. Já no intervalo 6 o valor do aumento foi de 0,6%, como pode ser observado na Tabela 8.

**Tabela 8:** Comparação das porcentagens de área do Canal 4 – época 1

Intervalos	Elevações (metros)	Porcentagens da área		Diferença A – B
		Banco de dados inicial (A)	Com inserção de pontos (B)	
1	850,30 – 850,45	5,5	5,2	0,3
2	850,45 – 850,60	24,3	23	1,3
3	850,60 – 850,75	28,1	26,9	1,2
4	850,75 – 850,90	26,6	26,3	0,3
5	850,90 – 851,05	13,2	15,7	-2,5
6	850,05 – 852,00	2,3	2,9	-0,6

- A – B – Diferença entre valores do canal com inserção de pontos do canal e banco de dados inicial. Valores positivos indicam redução e valores negativos aumento da porcentagem de área no intervalo de elevação.

Na comparação dos mapas de elevações para esse canal, verificou-se o aumento de área representada pela cor roxa (intervalo 5) entre a parte central do trecho 2 e o ponto C. Verificou-se ainda a redução da cor amarela (intervalo 2) no centro do trecho 2, conforme Mapa 5.



Legenda			
Intervalo de elevação (topo - mínimo)	Porcentagem (%)	Área (m²)	Área (m²)
1 850,30 - 850,45	5,5	23,90	
2 850,45 - 850,60	24,3	149,32	
3 850,60 - 850,75	25,1	172,27	
4 850,75 - 850,90	25,6	163,63	
5 850,90 - 851,05	13,2	81,16	
6 851,05 - 852,00	2,3	13,92	

Legenda			
Intervalo de elevação (topo - mínimo)	Porcentagem (%)	Área (m²)	Área (m²)
1 850,30 - 850,45	5,2	20,96	
2 850,45 - 850,60	23,0	147,12	
3 850,60 - 850,75	25,9	171,42	
4 850,75 - 850,90	28,3	168,43	
5 850,90 - 851,05	16,7	106,61	
6 851,05 - 852,00	2,9	18,56	

Legenda			
Intervalo de elevação (topo - mínimo)	Porcentagem (%)	Área (m²)	Área (m²)
1 850,30 - 850,45	3,5	21,25	
2 850,45 - 850,60	21,0	129,78	
3 850,60 - 850,75	30,9	189,76	
4 850,75 - 850,90	30,9	189,29	
5 850,90 - 851,05	12,7	78,22	
6 851,05 - 852,00	2,5	15,72	

Legenda			
Intervalo de elevação (topo - mínimo)	Porcentagem (%)	Área (m²)	Área (m²)
1 850,30 - 850,45	3,2	20,76	
2 850,45 - 850,60	25,4	132,26	
3 850,60 - 850,75	30,7	196,60	
4 850,75 - 850,90	25,6	201,84	
5 850,90 - 851,05	13,3	85,20	
6 851,05 - 852,00	0,8	4,90	

MAPA 5: Mapas de elevações do Canal 4 - Escala 1:400

### 4.3.1.8 – Canal 4 – época 2.

No Canal 4 – época 2 (Mapa 5) os maiores valores de área se concentram entre os intervalos 2 e 4 com valores de 83,9% no canal gerados a partir do banco de dados inicial e de 82,7% no canal gerado com inserção de pontos. Ainda num contexto geral, os intervalos de 1 a 3 apresentaram redução de área e os intervalos de 4 a 6 aumento.

Individualmente, os intervalos 1, 2 e 3 apresentaram redução de 0,3, 0,6 e 1,3%, respectivamente, enquanto nos intervalos 4, 5 e 6 o aumento foi na ordem de 0,7, 1,2 e 0,3%, conforme Tabela 9.

**Tabela 9:** Comparação das porcentagens de área do Canal 4 – época 2

Intervalos	Elevações (metros)	Porcentagens da área		Diferença A – B
		Banco de dados inicial (A)	Com inserção de pontos (B)	
1	850,30 – 850,45	3,5	3,2	0,3
2	850,45 – 850,60	21	20,4	0,6
3	850,60 – 850,75	32	30,7	1,3
4	850,75 – 850,90	30,9	31,6	-0,7
5	850,90 – 851,05	12,1	13,3	-1,2
6	851,05 – 852,00	0,5	0,8	-0,3

- A – B – Diferença entre valores do canal com inserção de pontos do canal e banco de dados inicial. Valores positivos indicam diminuição e valores negativos aumento da porcentagem de área no intervalo de elevação.

Entre os mapas de elevações para esse canal foi constatado apenas o aumento do roxo (intervalo 5) nos trechos 2 e 3, como pode ser observado no mapa 5.

Na comparação de canais da mesma época baseado no banco de dados inicial e com inserção de pontos por interpolação matemática simples foram constatadas poucas variações nas porcentagens de área, e em alguns casos essa variação não ocorreu. As maiores variações constatadas foram no canal 1 época 2, intervalos 3, 4, 5 e 6 e canal 4 época 1 intervalo 5, conforme Tabela 10. Nos demais intervalos estudados, todas as

alterações encontradas foram de valores inferiores à 2%. Os mapas de elevações também apresentaram poucas variações gráficas nas comparações propostas até então.

**Tabela 10:** Maiores variações constatadas nos canais de mesma época.

Canal	Época	Intervalo	Varição
1	2	3	-2,5%
1	2	4	-3%
1	2	5	2%
1	2	6	3,3%
4	1	5	-2,5%

A comparação entre intervalos de elevação obtidos originalmente e aqueles obtidos por inserção de pontos apresentou pouca variação e contribuiu para melhorar a modelagem numérica do terreno pela distribuição regular de pontos, culminando com modelos digitais de elevações mais condizentes com os canais implantados em campo. Cita-se como exemplo, mapa 5, no canal 4 com inserção de pontos, no trecho 2, é possível visualizar melhor a presença do camalhão, representado pelo aumento das cores roxa e preta do que quando se observa o mesmo local, no mesmo canal sem a inserção de pontos. Situações similares podem ser encontradas nos outros canais. Diante disso, para o estudo do comportamento de canais em duas épocas distintas, utilizou-se os canais com inserção de pontos.

#### **4.3.2 – Comparações entre os canais de diferentes épocas com inserção de pontos.**

Enquanto a comparação de canais de mesma época apresentou pouca variação, os mapas de elevações gerados por modelagem numérica do terreno com intervalo de 12 meses apresentou consideráveis alterações, proporcionadas pelo desgaste do relevo natural, transporte e acúmulo de sedimentos no fundo do canal e empolamento e desgaste do camalhão.

#### 4.3.2.1 – Comparações do Canal 01 com inserção de pontos.

No canal 1, foi constatado predomínio de áreas entre os intervalos 2 e 4, com 79,1% na época 1 e 89% na época 2, obtidos pela soma das porcentagens de área nos citados intervalos de área (Tabela 11).

Os intervalos 1 e 2 sofreram redução de 2,7 e 5,8% de área nessa ordem. No intervalo 3 apresentou aumento de área 11,1%, maior valor encontrado em todos os canais estudados. No intervalo 4 o aumento de área foi de 4,6%. O intervalo 5 também apresentou um variação considerável de variação de área, com redução de 6,9%. O menor valor encontrado foi no intervalo 6 com 0,3% de redução de área, conforme Tabela 11.

**Tabela 11:** Comparação das porcentagens de área do Canal 1.

Intervalos	Elevações (metros)	Porcentagens da área		Diferença A - B
		Época 1 (A)	Época 2 (B)	
1	855,30 – 855,45	2,9	0,2	2,7
2	855,45 – 855,60	26,2	20,4	5,8
3	855,60 – 855,75	26,8	37,9	-11,1
4	855,75 – 855,90	26,1	30,7	-4,6
5	855,90 – 856,05	16,6	9,7	6,9
6	856,05 – 857,00	1,4	1,1	0,3

- A – B – Diferença entre valores do canal na época 1 (A) e do canal na época 2 (B). Valores positivos indicam redução e valores negativos aumento da porcentagem de área no intervalo de elevação.

Na comparação dos mapas de elevações do canal 1 as variações foram nítidas. A cor vermelha (intervalo 1) que inicialmente aparecia em dois locais, logo após o ponto C e no ponto D se limitou à uma pequena porção na parte anterior do ponto D, proporcionando aumento do valor de cotas no fundo do canal, conforme Mapa 2, revelando aporte de sedimentos no fundo do canal, oriundos das áreas à montante e do desgaste do camalhão.

O intervalo de elevação 2, representado pela cor amarela apresentou redução de área, principalmente no início do trecho 2, tendo também ocupado o espaço anteriormente ocupado pelo vermelho. Foi constatado ainda, aumento do verde (intervalo 3) ao longo de todo o canal e principalmente nos locais onde o amarelo ocupava,

revelando que o aporte de sedimentos para o interior do canal ocorreu também por alterações nas suas laterais. Essas alterações fizeram com que locais do canal anteriormente classificados no intervalo 2 (cotas 855,45 - 855,60) passassem para o intervalo 3 (cotas 855,60 – 855,75).

O aumento do azul (intervalo 4) também foi verificado ao longo de todo canal. No roxo (intervalo 5) foi notado uma redução no trecho 1 nas proximidades do ponto A e no trecho 3 no ponto D, onde deixou de existir.

O preto (intervalo 6) que apresentava uma mínima incidência no ponto B passou a inexistir decorrido um ano, revelando desgastes das partes superiores do canal (relevo natural e camalhão).

#### **4.3.2.2 – Comparações do Canal 02 com inserção de pontos.**

O canal 2 apresentou comportamento singular quanto ao predomínio de áreas, quando analisadas as porcentagens num contexto geral. Na época 1, ocorreu maior incidência de áreas entre os intervalos 2 e 4, com 65,8%. Decorridos doze meses, os maiores valores de área se encontram entre os intervalos 3 e 5, com 72,8%, denunciando diminuição das áreas dos intervalos com menor elevação, e conseqüentemente a diminuição da capacidade de acúmulo de enxurradas no cordão de contorno. Nos demais canais estudados, os intervalos que apresentaram maior incidência de áreas na primeira época, apresentaram a mesma situação após decorridos doze meses.

Individualmente os intervalos 1, 2 e 6 apresentaram valores muito próximos, com redução de 3,6, 3,5 e 3,6% de área respectivamente. No intervalo 3 a variação de área foi de pequena monta, com aumento de 0,1%. Aumento também foi verificado no intervalo 4, com 3,2% de área. O intervalo 5 apresentou o segundo maior aumento de área entre todos os canais estudados, com 7,4%, conforme a Tabela 12.

**Tabela 12:** Comparação das porcentagens de área do Canal 2.

Intervalos	Elevações (metros)	Porcentagens da área		Diferença
		Época 1 (A)	Época 2 (B)	A - B
1	854,15 – 854,27	11,9	8,3	3,6
2	854,27 – 854,39	20,8	17,3	3,5
3	854,39 – 854,51	23,3	23,4	-0,1
4	854,51 – 854,63	21,7	24,9	-3,2
5	864,63 – 854,75	17,1	24,5	-7,4
6	854,75 – 855,00	5,2	1,6	3,6

- A – B – Diferença entre valores do canal na época 01 (A) e do canal na época 02 (B). Valores positivos indicam redução e valores negativos aumento da porcentagem de área no intervalo de elevação.

A comparação dos mapas de elevações apresentou diferenças consideráveis. Nos trechos 1 e 2 foi constatado a diminuição do roxo (intervalo 5), denunciando desgaste do relevo natural (Mapa 3).

A área em vermelho, representativa do intervalo 1, na primeira época, entre os trechos 1 e 2, ponto B, se apresentava interrompida por área em amarelo, representativa do intervalo 2, denunciando ausência de preciso nivelamento no local, situação não mais verificada na época 2, onde a cor vermelha apresentou continuidade nos trechos referidos, significando maior homogeneidade na altimetria do fundo do canal, naquele lugar.

No trecho 3 ocorreu a maior variação de cores, conseqüentemente alterações em elevações, entre todos os canais comparados. O mapa de elevações da época 1 detecta a presença das dos diferentes intervalos de elevação, pela seqüência das cores: vermelho – amarelo – verde – azul – roxo – preto, indicando o formato do canal, o qual, em sua parte central possuía cotas com valores inferiores à 854,27 metros, tendendo à cotas superiores à 854,75 metros nas laterais do canal. Decorridos doze meses, o que se constatou na parte central do trecho 3 foi o predomínio absoluto do roxo, intervalo 5, com cotas acima de 854,63 metros, denunciando grande aporte de sedimentos para o local (no mínimo 0,36 metros), comprometendo a integridade da prática conservacionista.

No trecho 4 época 1 havia predomínio do vermelho (intervalo 1) enquanto que o amarelo (intervalo 2) se estendia de antes do ponto D até as imediações do

ponto E. Já na época 2, o aporte de sedimentos ao interior do canal fez com que o vermelho fosse suprimido e o amarelo limitando-se do ponto D à média parte do trecho.

A diminuição do preto (intervalo 6) entre os pontos C e E, indica que ocorreu desgaste do relevo natural e do camalhão. Esse desgaste provocou o aumento do roxo e diminuição do vermelho, citado anteriormente, comprometendo a vida útil do cordão de contorno.

#### 4.3.2.3 – Comparações do Canal 03 com inserção de pontos.

O Canal 3 apresentou 78% de sua área entre os intervalos 2 e 4 no tratamento inicial e 83,2% decorrido doze meses.

Os intervalos 1, 2 e 3 apresentaram aumento de área da ordem de 1,5, 3,3 e 2,9%. O intervalo 4 apresentou redução de 1% de área. Já no intervalo 5 ocorreu redução de 6,4% de área, valor considerado alto quando comparado às outras variações ocorridas no período. No intervalo 6 que na época 1 já apresentava pequeno valor (0,6%), ocorreu redução de 0,2% de área após doze meses, conforme detalhamento da Tabela 13.

**Tabela 13:** Comparação das porcentagens de área do Canal 3.

Intervalos	Elevações (metros)	Porcentagens da área		Diferença
		Época 1 (A)	Época 2 (B)	A - B
1	852,84 – 852,98	9,5	11	-1,5
2	852,98 – 853,12	27,5	30,8	-3,3
3	853,12 – 853,26	25,4	28,3	-2,9
4	853,26 – 853,40	25,1	24,1	1
5	853,40 – 853,54	11,9	5,5	6,4
6	853,54 – 854,68	0,6	0,4	0,2

- A – B – Diferença entre valores do canal na época 1 (A) e do canal na época 2 (B). Valores positivos indicam redução e valores negativos aumento da porcentagem de área no intervalo de elevação.

Por mais precisa e criteriosa que seja a locação de cordões de contorno em campo, algumas variações altimétricas podem ocorrer no fundo do canal, seja pelo traçado sinuoso do trator, espaçamentos das estacas, presenças de barreiras, etc.

O comportamento esperado em qualquer canal utilizado como cordão de contorno, com o passar do tempo, é aporte de sedimento para o fundo do canal, proporcionado pelo arraste de partículas das áreas à montante e do desgaste do camalhão. No que tange variação altimétrica, as cotas do fundo do canal tendem a ter seu valor aumentado, enquanto as cotas do relevo natural (à montante) e o camalhão tendem a ter diminuído seus valores altimétricos.

Nesse particular o canal 3 apresentou comportamento impar, pois no intervalo 1, representado pela cor vermelha, foi constatado aumento de área, proporcionado pela tendência natural do canal em obter o nivelamento por ação da enxurrada no interior do canal. Isso pode ser explicado pelo fato de no ponto D, época 1 ter sido constatado que a área ocupada pelo intervalo 1 (vermelho) era mais espessa em relação ao mesmo local na época 2. A movimentação de material no fundo do canal proporcionado pela ação transportadora da enxurrada e redistribuição de sedimentos, aumentou a área do intervalo 1 ao mesmo tempo em que proporcionou nivelamento natural, revelado pela maior tendência à uniformização da figura alongada definida pela cor vermelha, (Mapa 4).

O aumento do verde e do azul, representando os intervalos 3 e 4 respectivamente também foram constatados ao longo de todo o canal, em locais que anteriormente eram ocupados pelo roxo, representado pelo intervalo 5.

No trecho 1 foi notada uma pequena redução do vermelho, denunciando aporte de sedimentos para o fundo do canal.

#### **4.3.2.4 – Comparações do Canal 4 com inserção de pontos.**

O predomínio de áreas no canal 4 foi verificada entre os intervalos 2 e 4, com 76,2% de área na época 1 e 82,7% na época 2.

Individualmente, os intervalos 1, 2, 5 e 6 tiveram seus valores de áreas reduzidos na faixa de 2 à 2,6%. Aumento de 3,8% de área foi constatado no intervalo 3. Já no intervalo 4 o aumento foi de 5,3%, conforme Tabela 14.

**Tabela 14:** Comparação das porcentagens de área do Canal 4.

Intervalos	Elevações (metros)	Porcentagens da área		Diferença
		Época 1 (A)	Época 2 (B)	A - B
1	850,30 – 850,45	5,2	3,2	2
2	850,45 – 850,60	23	20,4	2,6
3	850,60 – 850,75	26,9	30,7	-3,8
4	850,75 – 850,90	26,3	31,6	-5,3
5	850,90 – 851,05	15,7	13,3	2,4
6	851,05 – 852,00	2,9	0,8	2,1

- A – B – Diferença entre valores do canal na época 1 (A) e do canal na época 2 (B). Valores positivos indicam redução e valores negativos aumento da porcentagem de área no intervalo de elevação.

Na comparação dos mapas de elevações foi verificada a redução do vermelho (intervalo 1) principalmente na parte média do trecho 2 e depois do ponto D, deixando de existir em ambos locais, indicando elevação altimétrica do fundo do canal (Mapa 5).

No trecho 2 também foi constatado a redução do preto (intervalo 6), ocasionadas pelo desgaste e empolamento do camalhão, culminando com a diminuição da capacidade de acúmulo de enxurradas no canal.

O aumento do azul (intervalo 4) foi notado principalmente nos locais onde anteriormente eram ocupados pelo roxo (intervalo 5), ocasionando redução das áreas de intervalos de maiores cotas, reduzindo a altura da seção dos canais, e quando ocorrendo no camalhão prejudica a capacidade de acúmulo de enxurradas nos cordões de contorno.

#### 4.4 – Cálculo da redução da capacidade de acúmulo de enxurradas nos cordões de contorno.

O volume admissível de enxurradas foi calculado a partir de quatro bancos de dados, tendo na modelagem numérica de terreno sido utilizado o interpolador TIN (*Triangular Irregular Networks*). Os cálculos foram efetuados para cada cordão de contorno, sendo:

- Época 1 - cálculo do volume a partir do banco de dados inicial;
- Época 1 - com inserção de pontos: cálculo do volume após a inserção de pontos por interpolação matemática;
- Época 2 - cálculo do volume a partir do banco de dados inicial, decorridos doze meses;
- Época 2 - com inserção de pontos: cálculo do volume após a inserção de pontos por interpolação matemática, decorridos doze meses.

O valor do Grid (malha triangular irregular) utilizada na modelagem numérica do terreno foi de 0,05 metros. A partir do banco de dados inseridos em arquivos do *software* LandDESKTOP, após as etapas descritas anteriormente (item 3.2.6.4), é gerado o modelo digital de elevação, para o cálculo do volume, com triângulos de 0,05 metros lados. A precisão do cálculo do volume está diretamente relacionada à dimensão dos triângulos, ocorrendo uma relação inversamente proporcional, pois quanto menor o valor do Grid (malha triangular), mais preciso é o cálculo de volumes.

Foram realizadas diversas tentativas a fim de proporcionar o cálculo de volumes da forma mais precisa, compatíveis com o *hardware* utilizado. O menor valor de Grid possível foi 0,05 metros. Nas tentativas com valores de Grid inferiores, o sistema forneceu a informação de memória insuficiente (*poor memory*) para efetuar o referido cálculo, sendo necessário, na seqüência, reinicializar o computador e o programa.

Na geração do modelo numérico do terreno, também foi necessário informar ao sistema quais pontos deveriam ser utilizados para as *breaklines*.

Concomitante à informação do volume admissível em cada canal, o sistema emite um relatório contendo o número de pontos do banco de dados utilizados, o número de pontos utilizados nas *breaklines*, e o número de pontos resultantes da interpolação que constam do modelo numérico do terreno, conforme a tabela 14, que apresenta os resultados conforme o relatório emitido pelo *software* LandDESKTOP após o cálculo de volumes.

A modelagem numérica do terreno, com base em um pequeno número de pontos, cria uma malha de interpolação com elevado número de novos pontos, de acordo com o Grid utilizado. Assim, como exemplos valores dos canais 1 e 4. No caso do canal 1 (Tabela 15), foram inseridos em arquivos do LandDESKTOP 46 pontos, sendo 34 utilizados nas *breaklines*. Após os devidos tratamentos, o arquivo passou a possuir 170778 pontos, resultantes dos cálculos de interpolação necessários para a geração do modelo numérico do terreno. Já no canal 4 com pontos, foram inseridos 75 pontos sendo 60 utilizados nas *breaklines*, que resultaram em um arquivo com 256038 pontos após todos os tratamentos para o cálculo do volume.

**Tabela 15:** Síntese das informações fornecidas pelo relatório de cálculo de volumes do *software* LandDESKTOP.

Época	Canal	Volume (m <sup>3</sup> )	Nº de pontos	Pontos das <i>breaklines</i>	Pontos do Volume
1	1- dados básicos	41,52393	46	34	170778
	1 - com pontos	43,91557	60	48	187806
2	1- dados básicos	32,00683	46	34	170970
	1 - com pontos	32,05844	60	48	188308
1	2 -dados básicos	42,63663	50	38	187677
	2 - com pontos	45,24718	60	48	200802
2	2 -dados básicos	30,15019	50	38	188213
	2 - com pontos	31,06101	60	48	200615
1	3- dados básicos	48,61771	59	44	203272
	3 - com pontos	49,85042	75	60	214543
2	3 -dados básicos	43,10865	59	44	202788
	3 - com pontos	43,73638	75	60	214852
1	4- dados básicos	52,97287	61	46	234249
	4 - com pontos	54,71946	75	60	255906
2	4- dados básicos	56,22990	61	46	234189
	4 - com pontos	57,91859	75	60	256038

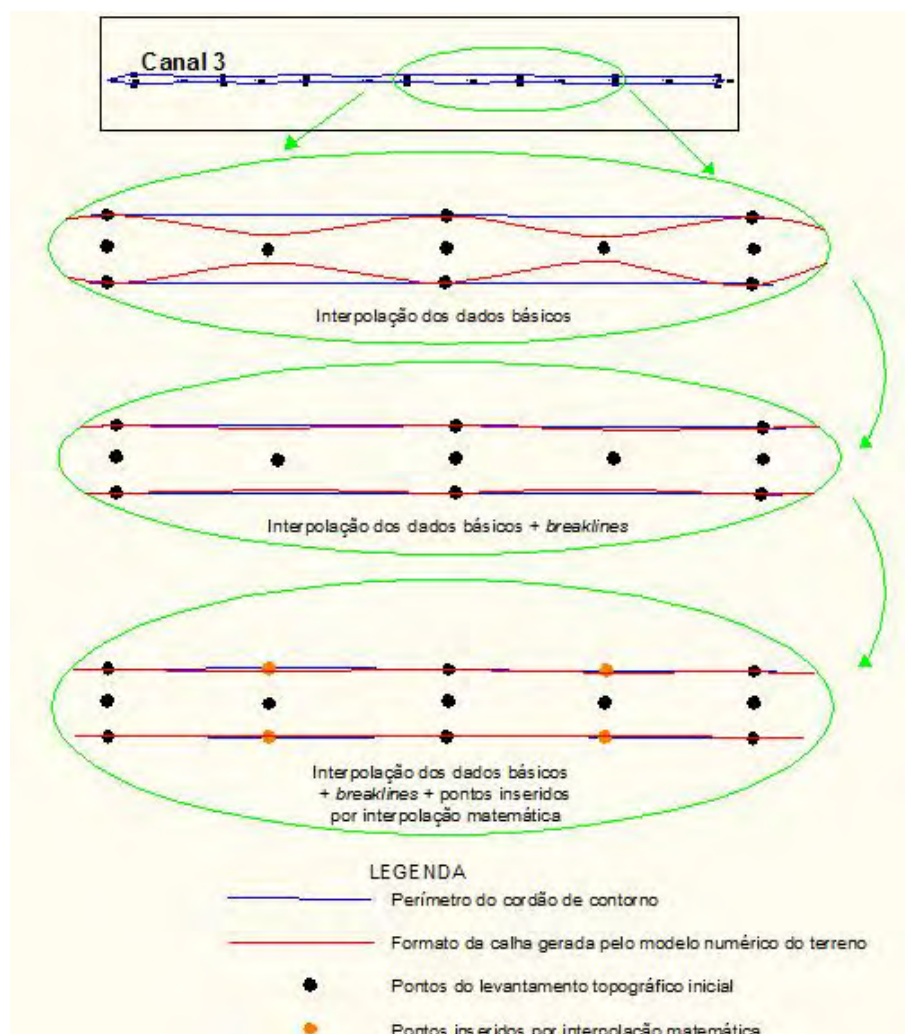
- Canal: canal estudado apoiado no banco de dados inicial (dados básicos) ou apoiado nos dados iniciais com a inserção de pontos por interpolação matemática (com pontos);
- Volume: volume admissível de enxurradas nos canais calculado;
- N° de pontos: pontos inseridos em arquivos dos *softwares* utilizados para os processamentos propostos;
- Pontos das *breaklines*: número de pontos utilizados nas linhas de quebra da interpolação para a geração do modelo numérico do terreno para o cálculo do volume;
- Pontos do volume: número de pontos do modelo numérico do terreno após o cálculo do volume.

#### **4.4.1 – Cálculo da redução da capacidade de acúmulo de enxurradas nos cordões de contorno com inserção de pontos.**

A inserção de pontos por interpolação matemática simples, que ocorreu no relevo natural e camalhão proporcionou aumento no valor do volume admissível em todos os canais estudados, conforme a Tabela 16, o que indica que os pontos inseridos induziram os modelos numéricos do terreno a gerar canais com maior calha de captação para acúmulo de enxurradas. Essas calhas são mais condizentes com a situação real em campo, pois refletem o traçado regular entre pontos amostrados, uma vez que com o banco de dados original, a influência das cotas de pontos intermediários lidos no fundo do canal é mais acentuada, por não haver, na posição perpendicular ao canal e que passa por tais pontos intermediários, dados do camalhão e relevo natural, conforme Figura 28, que apresenta esquematicamente parte do perímetro do cordão de contorno e o formato do canal resultante da modelagem numérica do terreno em três situações: apoiado nos dados de campo; apoiado nos dados de campo e com a utilização das *breaklines*; apoiado nos dados de campo com inserção de pontos por interpolação matemática e utilizando as *breaklines*.

**Tabela 16:** Aumento do volume admissível nos canais após a inserção de pontos por interpolação matemática.

Canal	Época	Aumento do volume com inserção de pontos
1	1	5,78 %
	2	0,16 %
2	1	6,12 %
	2	3,02 %
3	1	2,53 %
	2	1,46 %
4	1	3,30 %
	2	3,66 %
Média		3,25 %



**Figura 28:** Representação esquemática de parte do perímetro do cordão de contorno e o formato do canal gerado por diferentes procedimentos de modelagem numérica de dados.

Os maiores aumentos foram observados nos Canal 2 – época 1 e Canal 1 – época 1, com o valor de 6,12% e 5,78 com a inserção de pontos. O menor valor obtido foi no Canal 1 – época 2, com 0,16%. Nos demais canais a porcentagem de aumento de volumes admissível oscilou entre 1,46 e 3,66%. A média dos aumentos foi de 3,25%.

#### **4.4.2 – Cálculo da redução da capacidade de acúmulo de enxurradas nos cordões de contorno decorridos doze meses.**

Para implantação de uma prática mecânica de conservação de solo, inicialmente deve-se definir o ponto de maior elevação da área, para se demarcar a primeira linha em nível, seguido da construção, seja do terraço ou cordão de contorno, de acordo com as necessidades e características da área. As linhas em nível iniciais, locadas nos pontos de maior elevação devem possuir equidistância vertical reduzida, em relação às demais. Tal procedimento se faz necessário pelo fato de a integridade de cada cordão de contorno estar atrelada à contribuição fluvial do intervalo entre curvas à montante. O rompimento de um dos cordões de contorno posicionado nos locais mais elevados implicaria no rompimento de todos os cordões locados à jusante, comprometendo toda a área agrícola.

Na comparação da capacidade de acúmulo de enxurradas nos cordões de contorno decorridos doze meses, constatou-se que os maiores valores de redução de volume ocorreram nos cordões 1 e 2, locados na região de maior elevação da área estudada, tanto nos canais apoiados no levantamento inicial, quanto nos canais com inserção de pontos por interpolação matemática, o que confirma a importância de se utilizar, à partir do ponto mais alto da área, distância vertical menor na locação do primeiro cordão.

O cordão 1 apresentou redução de 22,90%. O maior valor encontrado foi no cordão 2, com 29,29%. Nos cordões 3 e 4 a redução foi semelhante, com 11,33 e 9,53 respectivamente. A média de redução constatada no período foi de 18,27% conforme Tabela 17.

A inserção de pontos por interpolação matemática proporcionou aumento de 3,25% em média no volume admissível dos canais (conforme item 4.3.1), pois

uniformizou a calha de captação. Na comparação dos cálculos do volumes desses canais, constatou-se que a redução foi maior.

**Tabela 17:** Redução da capacidade de acúmulo de enxurradas nos canais, apoiados no banco de dados inicial.

Cordão de contorno	Época 1	Época 2	Época 1 – Época 2	Redução
	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	(%)
1	41,52	32,01	9,51	22,90
2	42,64	30,15	12,49	29,29
3	48,62	43,11	5,51	11,33
4	52,97	47,92	5,05	9,53
Média				18,27

No cordão 1 foi constatado a redução de 27% do volume admissível de acúmulo de enxurradas no período. O maior valor verificado foi no cordão 2, com 31,36%. Os cordões 3 e 4 apresentaram redução muito semelhante, com 12,26 e 14,43% respectivamente. A redução média constatada no período foi de 20,76%, conforme Tabela 18.

**Tabela 18:** Redução da capacidade de acúmulo de enxurradas nos canais, apoiados no banco de dados com inserção de pontos.

Cordão de contorno	Época 1	Época 2	Época 1 – Época 2	Redução
	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	(%)
1	43,92	32,06	11,86	27,00
2	45,25	31,06	14,19	31,36
3	49,85	43,74	6,11	12,26
4	54,72	47,92	6,80	12,43
Média				20,76

Como a eficiência da prática mecânica de conservação de solo está relacionada diretamente à estabilidade de todos os cordões de contorno e em especial daqueles construídos nos locais de maior elevação, é possível inferir que, considerando o

tipo de solo do local e sua cobertura vegetal, bem como mantidas as características climáticas da região, a área agrícola em estudo ainda estará segura das ações do intemperismo por mais doze meses, sendo necessárias intervenções, principalmente nos cordões à montante depois dessa data, visto que os mesmos (cordões 1 e 2) apresentaram redução média da capacidade de acúmulo de enxurrada de 29,18%, pelo desgaste dos camalhões e aporte de sedimentos no canal, enquanto os cordões de contorno construídos nas áreas a jusante, apresentaram redução média da capacidade de acúmulo de enxurrada de 12,34%.

## 5 CONCLUSÕES

Com base na metodologia adotada, pode-se concluir que:

- A utilização da ferramenta *breakline* ou linhas de quebra se constituiu condição indispensável na geração do modelo numérico do terreno para cálculo coerente do volume em cordões de contorno.
- A inserção de pontos por interpolação matemática utilizada no relevo natural e camalhão, definiu calhas mais condizentes com a situação real em campo;
- Os mapas de elevação gerados por modelagem numérica do terreno permitiram nítida visualização, bem como quantificação das variações altimétricas que ocorreram nos cordões de contorno, principalmente do aporte e movimentação de solos e sedimentos que ocorreu no fundo dos canais.
- Os cordões de contorno construídos nos locais de maior elevação da área apresentaram redução média da capacidade de retenção de enxurradas de 29,18%, já os construídos nos locais de menor elevação apresentaram redução média de 12,34%.
- A redução da capacidade de retenção de águas pluviais nos cordões de contorno no período de doze meses permitiu inferir que, se mantidas as características climáticas da região, a área agrícola em estudo ainda estará segura das ações dos processos erosivos por mais doze meses.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ABE, K.; KITAHARA, H.; KUDOH, T.; MARQUES, A. F.; MARTINS, M.E.; FRANCISCO, A.; HONDA, E. A. **Situação da erosão por voçorocas na região sudeste do estado de São Paulo**. In: Pesquisas em conservação e recuperação ambiental no oeste paulista: resultados da cooperação Brasil/Japão/Instituto Florestal. Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo: Páginas & Letras Editora e Gráfica. 2004a. p. 112 – 120.

ABE, K.; OCHIAI, H.; HONDA, E. A.; BERTO, E. A. **Desenvolvimento de método de avaliação da erosão do solo para a Bacia-piloto da Água da Cachoeira**. In: Pesquisas em conservação e recuperação ambiental no oeste paulista: resultados da cooperação Brasil/Japão/Instituto Florestal. Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo: Páginas & Letras Editora e Gráfica. 2004b. p. 155 – 168.

ALMEIDA, E.; ALVES, S.; COELHO, J. C. D.; SILVA, F. F. Sig para aproveitamentos hidroelétricos da zona centro. In.: CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODÉSIA, 4, 2005, Lisboa. *Actas...*Lisboa: Cartografia e Geodésia, 2005. p. 91-99.

ALMEIDA, F. F. M. **Perfil geológico do Estado**. In: IGC, Geologia do Estado de São Paulo. Boletim n. 41, p. 254-262, 1964.

AYODADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. São Paulo: DIFEL, 1986, 332p.

BATISTA, I.F. **Variabilidade espacial da umidade do solo em irrigação por gotejamento sob cultivo protegido**. 2002. 113 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

BARBOSA, A. P.; CAMPOS, S.; EINGENEER, F. G.; FAITA, J. R.; MANZANO, L. M.; CARREGA, E. F. B. Utilização de Imagens CBERS 2 na análise do uso da terra como subsídio ao desenvolvimento sustentável In.: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...**Florianópolis: INPE, 2007. p. 763-768.

BARBOZA, A. E. C.; ROCHA, S. F.; GUIMARÃES, W. D. Estudo preliminar da vulnerabilidade do aquífero livre localizado na região de Ponta da Fruta, Vila Velha – ES. In.: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...**Florianópolis: INPE, 2007. p. 3279-3286.

BARROS, H. de; AZEVEDO, Á. L. de. **Desertificação: causas e conseqüências**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2002. 678p.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.

BRANDÃO, V.S.; PRUSKI, F.P.; SILVA, D.D. **Infiltração de água no solo**. 3<sup>a</sup> Viçosa – Mg: Ed. Efv, 2006.

CALLEJA, R.; MACPHERSON, H. G. Agricultura de conservación en cultivos extensivos regados. **Agricultura de Conservación**, Córdoba, n. 11, p. 42 – 44, abr, 2009.

COELHO, A.C.S. **Avaliação do desempenho de receptores GPS em levantamentos altimétricos, para fim de sistematização de terras**. 2003. 128 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

COSTA, H, ARAÚJO, A, CARRÃO, H, CAETANO, M, 2008. “Influencia das características técnicas das imagens de satélite na produção de cartografia de ocupação do solo baseado em imagens MERIS e AWiFS”. In: ENCONTRO DE UTILIZADORES DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, 10., 2008, Oeiras. *Actas...* Oeiras - Portugal, 2008.

FAVERO, F.; LOVO, I. C.; MENDONÇA, E. de S.. Recuperação de área degradada com sistema agroflorestal no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 861-868, 2008.

FREIRE, OTÁVIO. **Solos das regiões tropicais**. Botucatu, SP: FEPAF, 2006. 268 p.

GARCIA, G. J.; PIEDADE, G. C. R. **Topografia aplicada às ciências agrárias**. 4. Ed. São Paulo: Nobel, 1983. 257 p.

GOMES, L.N.; CARDOSO, L.G.; ARTIOLI, G.M.; CAMPOS, S.; BARROS, Z.X. Influencia da distribuição espacial de pontos de levantamento topográfico na geração de planta planialtimétrica. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, 8., 2001, Bauru. **Resumos...** Bauru, 2001.

GOMES, L. N.; **Modelagem numérica de superfície como instrumento de avaliação de curvas de nível na preservação de manancial de água**. 2006. 76 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

GONÇALVES, M. de L. de A. M.; CARVALHO, C. A. P.; VIEIRA, A. J. B. Geração de modelo digital de terreno a partir de mapas digitais 3D: estudo de caso visando garantir o contexto geomorfológico com redução de dados amostrais. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 9, n. 1, p.105-119, 2003.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. São José dos Campos, SP: Parênteses. 2009. 598 p.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Uniderp, 2006. 881 p.

LIZANA, A. R.; PÉREZ, A. E.; GIRÁLDEZ, J. V.; ORDÓÑES, R.; GONZÁLEZ, P. Cubiertas vegetales de olivar: afaecto en la escorrentía e infiltración. **Agricultura de Conservación**, Córdoba, n. 1, p. 22 – 26, nov, 2005.

LOPES, J.; CATALÃO, J.. Uma proposta de algoritmo para generalização cartográfica de linhas. In.: CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODÉSIA, 5, 2007, Lisboa. *Actas...* Lisboa: Cartografia e Geodésia, 2007. p. 3-12.

MACHADO, M. L.; ALVES, J. S.; GOMES, I.; VIEIRA, E. M.; SIMÃO, M. R. L.; NAIME, U. J. Levantamento Sistemático dos Fatores da Equação Universal de Perdas de Solos (USLE) para o Delineamento de Áreas com Potencial Erosivo da Bacia PN1 – IGAM, Minas Gerais. In.: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSOREIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. Anais... Natal: INPE, 2009. p. 7733-7739.

MALVA, L. M. O. Modelos TIN Suaves Baseados em Redes de Curvas de Norma Mínima. In.: CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODÉSIA, 5, 2007, Lisboa. *Actas...* Lisboa: Cartografia e Geodésia, 2007. p. 13-23.

MARQUES, F.; GIL, J; ORDÓÑES, R.; PÉREZ, J. J.; GOMEZ, M. Melhoras em La productividad y calidad de trigo em siembra directa bajo diferentes tesis de abonado. **Agricultura de Conservación**, Córdoba, n. 12, p. 18 – 22, jul, 2009.

MARQUES, F.; ORDÓÑES, R.; REPULLO, M.; CARBONELL, R.; RODRIGUES, A. Comparación de sistemas de manejo de suelo en olivar en ensayos de simulación de lluvia. **Agricultura de Conservación**, Córdoba, n. 8, p. 20 – 24, fev, 2008.

MENEZES, R; FIGUEIRA, R; SOUSA, A. J; SÉRGIO, C. Utilização da krigagem da indicatriz na modelação de superfície de dispersão de poluente em sistemas de informação geográfica. In.: CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODÉSIA, 4, 2005, Lisboa. *Actas...* Lisboa: Cartografia e Geodésia, 2005. p. 33-42.

MILLER JR, G. T. **Introducción a la ciencia ambiental: desarrollo sostenible de la tierra**. 5 Ed. Madrid: Copyright, 2002. 458 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicação**. Viçosa: UFV, 2007. 320 p.

NEBEL, B. J.; WRIGHT, R. T. **Ciencias ambientales: ecología y desarrollo sostenible**. 6. Ed. Naucalpan de Juárez, México: Pearson, 1999. 720p.

NÓBREGA, R. A. A.; BARROS, M. T. L. DE; QUINTANILHA, J. A. Emprego de técnicas digitais para a concepção da base cartográfica da bacia hidrográfica do Córrego Cabuçu de Baixo, São Paulo, SP. **Revista Ambi-Água**, Taubaté, v. 3, n. 1, p. 76-90, 2008.

NOVO, E. M. L, de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2008. 363 p.

NUNES, E.A., Gomes L.N., CARDOSO L.G., NARDINI R.C., Barros B.S.X. Uso de GPS geodésico na redefinição de lançantes para locação de postes de eletrificação rural a partir de planta de referencia. In REUNIÃO CIENTÍFICA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO LAGEADO, 16., 2009, Botucatu. **Resumo em CD ROOM...** Botucatu, 2009.

OLIVEIRA, S. M. C. de. **Evolução recente da linha da costa no troço costeiro Forte Novo – Garrão (Algarve)**. 2005. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra) – Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa 2005.

OREA, D. G. **Recuperación de espacios degradados**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2004. 583p.

PAIVA, C. F. E.; OLIVEIRA, V. S.; VERDRAME, I. F.; AULICINO, L. C. M.. Estimativa das perdas de solo por erosão hídrica na bacia do Rio Uma Taubaté – SP com o emprego de sensoriamento remoto. In.: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 1407 – 1414.

PIROLI, E. L. **Geoprocessamento na determinação da capacidade de uso e avaliação da adequação do uso das terras do Município de Botucatu**. 2002. 107 p. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

PONCE ÁLVARES, M. T.; PIMENTA, M. T. Erosão hídrica e transporte sólido em pequenas bacias hidrográficas. In: CONGRESSO DA ÁGUA, 4, 1998. Lisboa. **Anais em CD ROOM...** Lisboa: Feira Internacional de Lisboa, Portugal, 1998.

PUERTAS, J. Q. **Aproximación cualitativa y cuantitativa de los fenómenos de erosión eólica en el S.E. español.** Madrid: Icona, 1989. 107 p.

RABAH, F. A. **Dependência espacial de atributos do solo obtidos por meio de semivariogramas e autocorrelogramas.** 2002. 90 p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

REVISTA DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN. La Universidad de Córdoba realiza un estudio sobre agricultura de conservación en cultivos herbáceos em pendiente. Córdoba, n. 11, p. 22 – 23, abr, 2009. ISSN 1885-9194

RIBEIRO, G.N.; MARACAJÁ, V.P.B. Utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento no estudo dos recursos naturais. **Revista Verde**, Mossoró, v.3, n.1, p. 2241, jan, 2008.

RIBES, J. A. G. Agricultura de conservación: su papel en el desarrollo rural, la eficiencia energética y el cambio climático. In: JORNADA IBEROAMERICANA DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN, 3, 2007., Fuentes de Valdepero. **Anais...** Fuentes de Valdepero (Espanha): Agricultura de Conservación, 2007. p. 12 – 18.

RODRIGUES, V.A. **Uso do sistema de posicionamento global na caracterização planialtimétrica para projetos de irrigação e drenagem.** 2003. 96 p. Tese (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria do Meio Ambiente. Informações básicas para o planejamento ambiental / Secretaria do Estado do Meio Ambiente, Coordenadoria de Planejamento Ambiental. São Paulo: SMA, 2002. 84 p. : mapas color.; 35x50 cm.

SEQUEIRA, F. M. **A fotogrametria aplicada ao estudo multi-temporal de movimentos de vertente**. 2006. 183 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra) – Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 2006.

SILVA, J.R.C.; SILVA, F.J.da. Eficiência de cordões de pedra em contorno na retenção de sedimentos e melhoramento de propriedades de um solo litólico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p. 441-446, 1997.

SIMÕES, L. B. **Integração entre um modelo de simulação hidrológica e sistema de informação geográfica na delimitação de zonas tampão ripárias**. 2001. 171 p. Dissertação (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

SOUSA, C. M. F. de. **A integração do sistema GPS/INS para a monitorização da linha de costa do litoral de Algarve**. 2004. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra) – Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 2004.

STRAHLER, A. N. **Geologia física**. Barcelona: Ómega S. A. 1993. 629 p.

TARBUCK, E. J.; LUTGENS, F. K. **Ciências de la tierra**. Madrid: Pearson Educación S.A., 2005. 736 p.

TEIXEIRA, S. B.; ANDRADE, C. F. de. Quantificação da erosão hídrica em Portugal Continental. **Recursos Hídricos**, Lisboa, v. 18, p. 25 – 43, jan, 1997.

VEIGA, T, C.; SILVA, J.X. da. **Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas potenciais para a atividade turística: O caso do município de Macaé - RJ**. In: Geoprocessamento & análise ambiental: aplicações / Jorge Xavier da Silva, Ricardo Tavares Zaidan (organizadores). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2004 p. 179 – 215.

VIRELLA, F. A.; SERRANO, F. M. **Processos geológicos externos y geología ambiental.**  
Madrid: Rueda, 1993. 629 p.