

## MODELAGEM NUMÉRICA DA SUPERFÍCIE NA GERAÇÃO DA PLANIALTIMETRIA SEGUNDO DADOS DE QUATRO EQUIPAMENTOS TOPOGRÁFICOS.

**Luciano Nardini Gomes; Lincoln Gehring Cardoso**

*Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, lunago@fca.unesp.br*

### 1 RESUMO

O presente trabalho objetivou comparar plantas planialtimétricas obtidas a partir de levantamentos pelos métodos taqueométrico e geométrico, utilizando-se dois diferentes teodolitos, uma estação total e um nível de precisão, sendo este a testemunha, visto plantas assim obtidas, se constituírem elemento básico para projetos rurais e ambientais.

Com estação total, foi estaqueada uma área com variações nítidas de relevo, obedecendo a um reticulado, sendo a distância entre as estacas de 20 metros. Em seqüência, as estacas foram lidas taqueométricamente pela própria estação total e por dois teodolitos de diferentes precisões. Em seguida, foi efetuado o nivelamento geométrico, utilizando-se nível de precisão. Os dados foram submetidos ao software DataGeosis, aplicando-se modelagem numérica do terreno com malha de máximo rigor, gerando representação planialtimétrica para cada levantamento.

Constatou-se, através de comparação das quatro representações, que as variações em relação à testemunha foram de pequena monta. Contudo, representação mais próxima da testemunha ficou para a planialtimetria obtida com base nos dados da estação total, sendo as representações obtidas com base nos teodolitos idênticas entre si.

Concluiu-se que, na obtenção de planialtimetria detalhada de pequenas áreas submetidas a reticulado, pode-se prescindir do uso do nivelamento geométrico composto, minimizando-se o trabalho com o uso exclusivo de estação total ou teodolito convencional.

**UNITERMOS:** métodos taqueométrico e geométrico, software DataGeosis.

### GOMES, L. N.; CARDOSO, L. G. NUMERICAL SURFACE MODELLING FOR PLANIALTIMETRY GENERATION ACCORDING TO DATA OBTAINED FROM FOUR TOPOGRAPHICAL TOOLS

### 2 ABSTRACT

The aim of this present work was to compare planialtimetric charts obtained from different risings using two different theodolite types, a total station, and a precision level, used as control. Using a total station, an area was marked with clear variations of relief, following a grid, with a distance of 20 meters among stakes. After that, the stakes were read by the total station and two theodolites of different precisions. The geometric leveling was done by a precision level. The data were input in the DataGeosis software and the numerical

modelling of the land was made with mesh of maximum rigidity, generating planialtimetric representation for each rising.

It was verified, through comparison of the four representations that little variations occur in relation to the control. The closest representation of the control was the planialtimetry based on the data from the total station, in which the representations obtained from the theodolites were identical among themselves..

It was concluded that in the process of obtaining detailed planialtimetry of small areas, submitted to the grid, it was not necessary to use composed geometric leveling, reducing work to the exclusive use of a total station or conventional theodolite.

**KEY WORDS:** taqueometric, geometric leveling, software DataGeosis.

### 3 INTRODUÇÃO

Quando se pretende a representação detalhada do relevo de pequenas áreas, principalmente para projetos localizados, é recomendável a aplicação de um reticulado de campo cuja distância entre as estacas ficará na dependência do rigor que se pretende no resultado final. Normalmente, é utilizado o nivelamento geométrico composto, com o uso de nível de precisão, após estaqueamento feito com teodolito convencional ou estação total.

Numa planta planialtimétrica, entre inúmeras possibilidades, o cálculo de declividade é um dos que em primeiro lugar vem à tona. Pereira Neto & Valério Filho (1993), comentam que o fator declividade retém alto grau de importância no conhecimento do desgaste do solo, sendo um dado do meio físico que subsidia estudos a um planejamento geoambiental da área estudada.

Inúmeras são as aplicações do conhecimento da declividade de áreas. Valente & Vettorazi (1998), utilizando técnicas de geoprocessamento, entre outros parâmetros, consideraram a declividade na elaboração de mapeamento de risco de incêndios florestais. Campos et al. (1997) utilizaram a planialtimetria de uma área na obtenção de modelo digital de elevação utilizando o SURFER 5.0 com dados importados do SIG IDRISI 4.1.

Qualquer estudo que necessite do conhecimento de detalhes de relevo, deve-se reportar à uma planta planialtimétrica. Em qualquer situação, quanto mais precisos os dados de campo, melhores resultados poderão ser obtidos; contudo, é conveniente conhecer a implicação do uso de equipamentos de precisões diferentes na geração dessas plantas.

Na elaboração da planialtimetria de áreas, o sistema Datageosis permite obtenção de representação plenamente compatível com a realidade de campo, ficando na dependência apenas da qualidade dos dados de campo, como atestam trabalhos de Cardoso et al (2000), Gomes et al. (2002). A modelagem numérica da superfície, nesse sistema tendo como base o interpolador Voronoi, permite a obtenção de valores de cotas em posições não lidas em campo, portanto, possivelmente, permita comparar a precisão de planialtimetria obtida de diferentes fontes de tomada de dados de campo.

Artioli et al. (2000) tendo como elemento de comparação cartas clinográficas, constatou que aquelas geradas pelo sistema Datageosis se apresentaram mais condizentes com a realidade de campo, quando comparadas àquelas geradas por diversos interpoladores do sistema Idrisi, bem como com aquelas geradas por ábaco analógico.

Apesar do advento e constante melhoria do Sistema GPS, os levantamentos topográficos convencionais ainda têm seu espaço, com o uso de estações totais,

distanciômetros e até teodolitos comuns, obedecendo a procedimento que, conforme Godoy (1988), consiste em se utilizar o mesmo equipamento tanto para a obtenção da planimetria como da altimetria. Os dados obtidos, sejam por cadernetas manuais ou eletrônicas, são, posteriormente, tratados por softwares topográficos cada vez mais completos.

A elaboração de uma planta planialtimétrica pode se constituir em elemento básico para ações hoje consideradas nobres, uma vez que está relacionada à preservação ambiental. Stein et. al. (1995) destacam que para tornar possível a prevenção das erosões rurais, há que se tomar por base um mapa de classes de capacidade de uso do solo, conjuntamente com o mapa de risco de erosão. É conveniente ressaltar que tais mapas a que se referem os autores têm, como base, uma carta clinográfica, e esta, por sua vez, é baseada em uma carta planialtimétrica.

Qualquer estudo que necessite do conhecimento de detalhes de relevo, deve-se reportar à uma planta planialtimétrica. Evidentemente, quando se tratam de áreas previamente mapeadas e a equidistância vertical entre curvas é compatível com os objetivos pretendidos, não há a necessidade do levantamento a campo. De qualquer forma, a planta planialtimétrica é fundamental, conforme atestam os trabalhos de Biasi (1970), ao confeccionar carta de declividade de vertentes ; Campos (1996), ao estudar o planejamento de uso do solo através de sistema de informações geográficas , entre outros.

Gomes et al. (2000), estudando as diferenças no traçado de curvas de nível de plantas planialtimétricas em função do tamanho da malha triangular utilizada na modelagem numérica da superfície, gerada pelo sistema topográfico DataGEOSIS, constataram que na obtenção dessas plantas em áreas com plano inclinado, é suficiente a utilização de valores médios de malha, o que reduz o tempo de processamento, permitindo a geração de arquivo menor do que o gerado a partir da modelagem com malhas mais rigorosas. Para áreas com diferentes categorias de declividades, recomendam o uso de malhas triangulares mais adensadas.

Artoli et al. (1999) compararam dois softwares topográficos, um em ambiente DOS (Topoesalq) e outro em ambiente WINDOWS (DataGEOSIS), no que tange à inserção de dados via teclado do computador e cálculo de área, tendo constatado que os resultados de área não diferiram. Constataram, contudo, que o primeiro possibilitou menor tempo de digitação, acusando inserção de valores incorretos de retículos, o que não ocorre com o segundo. Por outro lado, o segundo permite alterações de maneira mais ágil uma vez que a caderneta é visualizada como um todo na tela, enquanto que no Topoesalq cada alinhamento ocupa a tela inteira. Como conclusão final, constataram que para a mesma finalidade (cálculo de área levantada por topografia), o sistema Topoesalq se apresentou mais acessível.

Conforme Garcia & Piedade (1983), para estudo de perfis, o levantamento mais utilizado é o geométrico composto, que implica em sucessivas mudanças do aparelho, numa associação de nivelamentos geométricos simples. A principal preocupação segundo os autores é relacionar devidamente as medições para cada posição do instrumento.

O sistema de posicionamento global (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 receptores GPS 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 autores concluíram que receptores GPS Geodésicos fornecem boa precisão para a altimetria.

Os novos softwares topográficos processam arquivos em tempo recorde, fornecendo entre outras informações planialtimetria e mapas clinográficos, obtidos após Modelagem Numérica de Superfície (MNS ou Modelagem Numérica do Terreno - MNT). O MNT é utilizado para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço. É utilizado para modelar informações relativas às propriedades do solo, como altimetria (Câmara & Medeiros, 1998, appud Bucene et al. 2003). De acordo com Bucene et al. (2003), a MNT pode ser definido como modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos  $(x, y)$ , em um referencial qualquer, com atributos denotados  $z$  (altimetria, em nosso caso), que descrevem a variação contínua da superfície.

A interpolação de valores conhecidos de coordenada  $Z$  (altimetria) resulta na MNS (ou MNT). 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 na África do Sul, concluiu que não conseguia estudar as variâncias, sem levar em conta a distância entre as amostras (Rabah 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 a dependência espacial dentro do espaço da amostragem (Batista 2002).

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

Com estação total Carl Zeiss Elta R55, foi estaqueada uma área de 1 hectare, com variações nítidas de relevo e distância entre as estacas de 20 metros. Em seqüência, as estacas foram lidas taqueométricamente pela própria estação total e por dois teodolitos, sendo um com precisão de 20'' (Wild ST4) e outro com precisão 01' (CST/Berger), seguindo-se o nivelamento geométrico composto com o uso de nível de precisão (Zeiss NI 050).

Para cada um dos três levantamentos planialtimétricos por taqueometria, foi criado um arquivo no software DataGEOSIS, digitada uma planilha e foram calculadas as respectivas poligonais, obtendo-se erro relativo de fechamento de 1:14968 para o teodolito Berger, 1:18743 para o teodolito Wild e de 1:51538 para a Estação Total. 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 1:5000.

Para cada um dos três arquivos obtidos até então, foi calculada a Modelagem Numérica da Superfície, que consiste na geração de valores de cota em toda a superfície medida. A realização de tal etapa foi possível pelo fato de sistema DataGeosis ser dotado do interpolador Voronoi, que com base em no mínimo três pontos é capaz de determinar o valor de cota de todo o espaço intermediário entre os pontos, e o número de pontos intermediários a serem

determinados fica na dependência da malha triangular utilizada. Os três arquivos foram submetidos à malha de máximo rigor (8000) para se obter a melhor representação planialtimétrica da área.

Os dados do nivelamento geométrico composto foram inseridos em arquivo do DataGeosis e foi calculada a Modelagem Numérica de Superfície também com malha de maior rigor (8000), para caracterizar o tratamento testemunha.

Após a Modelagem Numérica da Superfície, o sistema DataGeosis gerou o traçado das curvas de nível nas plantas, com equidistância vertical de 0,20 metros.

Foram comparados os arquivos, contendo representação planialtimétrica baseada nos quatro levantamentos de campo.

Para a análise estatística, os dados sofreram devido tratamento no Excel, para se apresentarem em colunas de cotas, iniciando no tratamento testemunha (NGC) seguindo dos demais tratamentos.

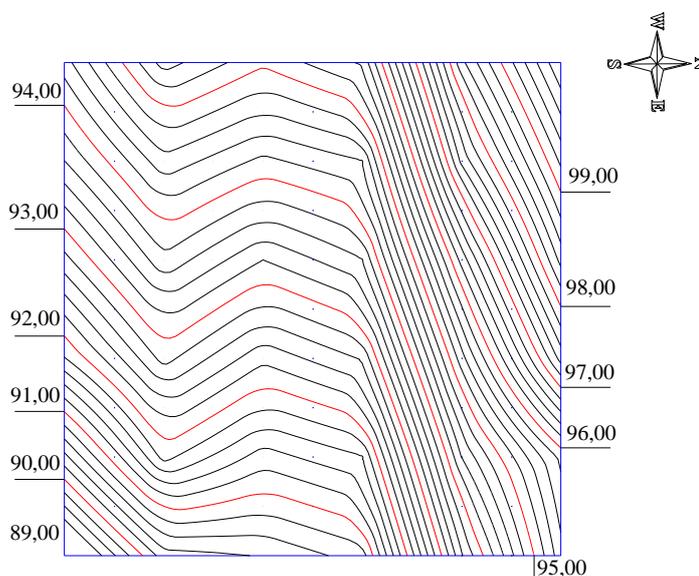
A primeira etapa da análise estatística foi determinar a correlação de grupos de dados de cada equipamento taqueométrico com os dados do tratamento testemunha (N.G.C.), com o teste T de PEARSON, através do software Sigma Stat versão Demo 3.0.

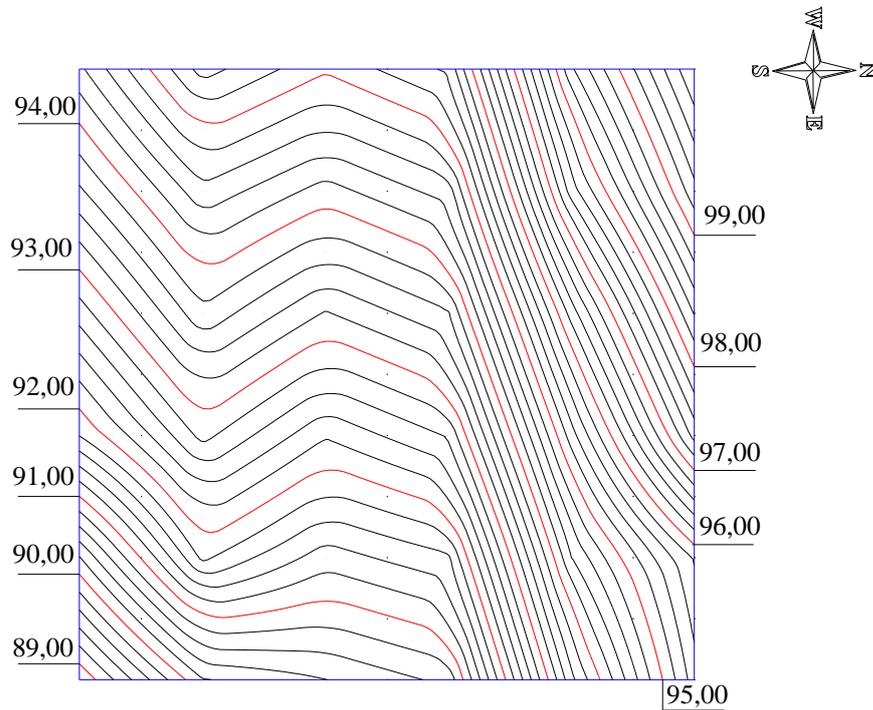
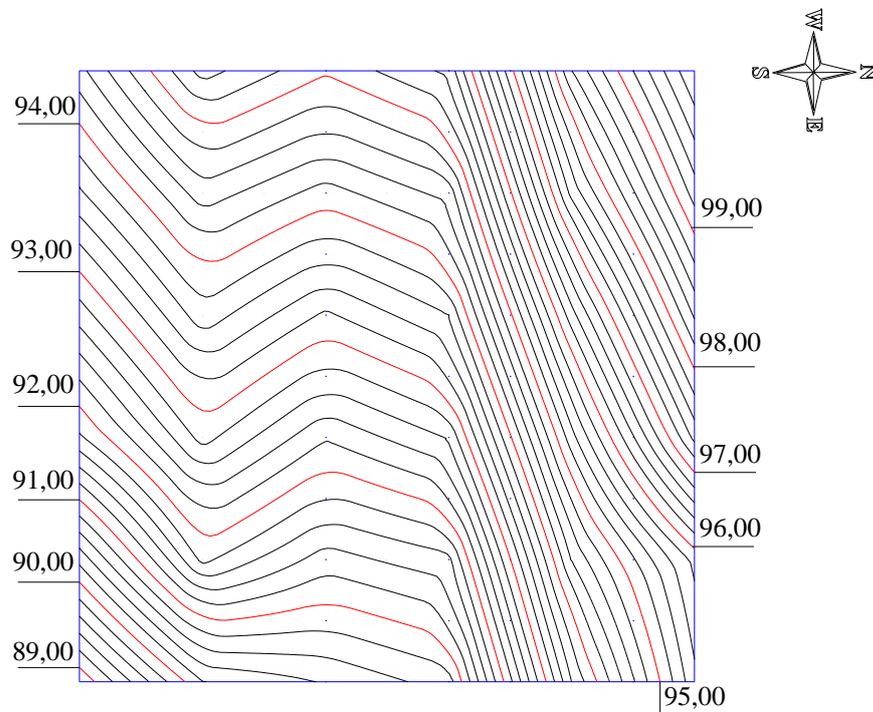
Com o software Sigma Plot versão Demo 8.02, foi possível determinar a equação de ajuste de cada aparelho para os dados do Nivelamento Geométrico Composto.

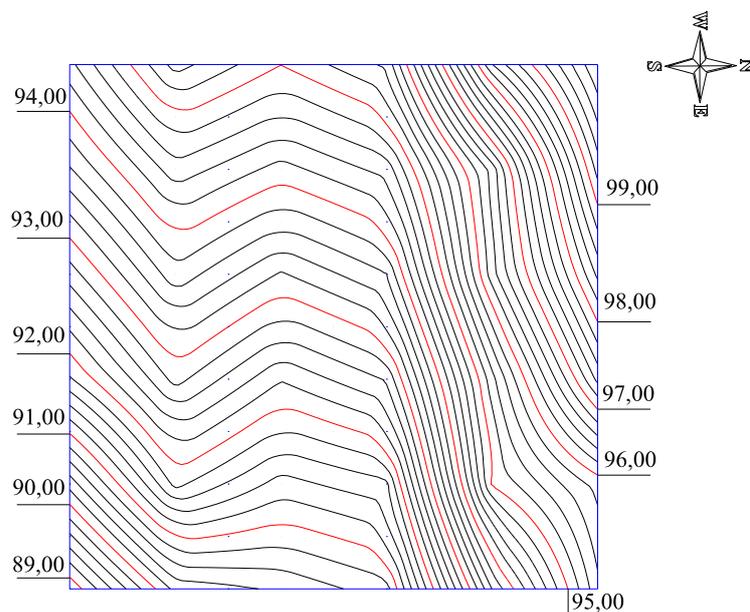
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os arquivos do Nivelamento Geométrico Composto e dos levantamentos taqueométricos foram processados, resultando nas Figuras 1 a 4. As curvas de nível apresentam equidistância vertical de 0,20 metros e foram cotadas apenas as curvas com valor de cota inteira, para que a representação final não apresentasse excesso de informações, o que dificultaria a visualização, bem como a comparação entre plantas.

Constatou-se, através de comparação das quatro representações, que as variações entre as representações em relação à testemunha foram de pequena monta, quase imperceptíveis. Contudo, representação mais próxima da testemunha, ficou para a planialtimetria obtida com base nos dados da estação total, sendo as representações obtidas com base nos teodolitos idênticas entre si.



**Figura 1.** Representação planialtimétrica dos dados do teodolito Wild ST4**Figura 2.** Representação planialtimétrica dos dados do teodolito CST Berger**Figura 3.** Representação planialtimétrica dos dados da estação total Elta R55



**Figura 4.** Representação planialtimétrica dos dados do nível de precisão NI 050

Através da análise estatística, constatou-se que não há diferença significativa entre o valor de cota dos equipamentos comparados. O teste T de Pearson mostrou correlação 1,00 a menos de 1% de significância quando comparados os tratamentos (Taqueômetros) com testemunha (Nível), como pode ser observado na Tabela 1.

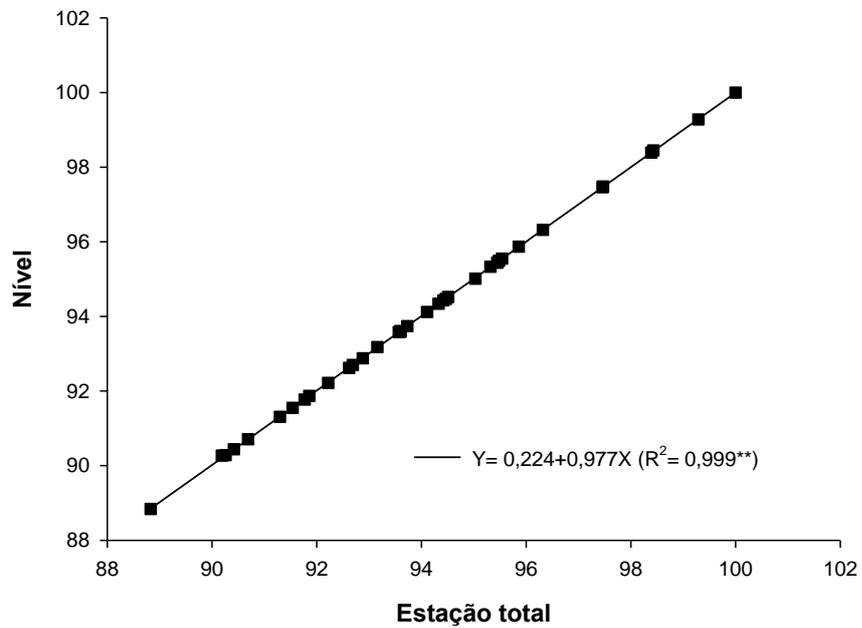
**Tabela 1.** Correlação entre equipamentos; Significância < 1%.

EQUIPAMENTOS	ESTACAS	CORRELAÇÃO	SIGNIFICÂNCIA
NÍVELxESTAÇÃO	36	1,00	0,000**
NÍVELxWILD	36	1,00	0,000**
NÍVELxBERGER	36	1,00	0,000**

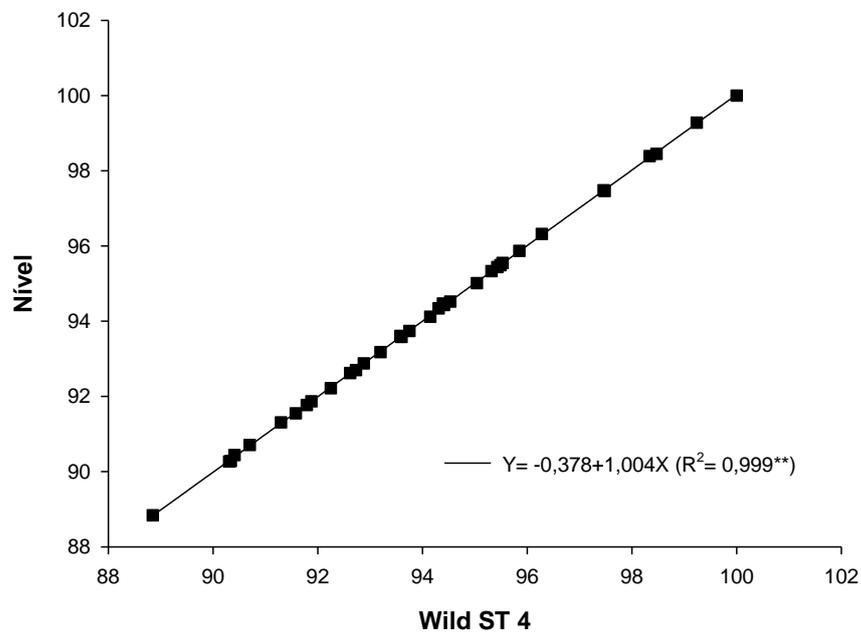
No software Sigma Plot, foi possível determinar a equação de ajuste dos dados de cada taqueômetro para o Nível. Os Gráficos 1, 2 e 3 representam a correlação entre do Nível de Precisão com Estação Total e teodolitos Wild e Berger, respectivamente. Através dos dados experimentais de cada levantamento contido nos Gráficos 1, 2 e 3, ajustou-se, através de regressão linear simples, as equações 1, 2 e 3 de estimativa do Nível de Precisão em relação aos Taqueômetros.

- Equação 1 : Nível = 0,224 + 0,977 Estação Total, com  $R^2 = 0,999$ ;
- Equação 2 : Nível = 0,378 + 1,004 Estação Total, com  $R^2 = 0,999$ ;
- Equação 3 : Nível = 0,392 + 0,996 Estação Total, com  $R^2 = 0,999$ .

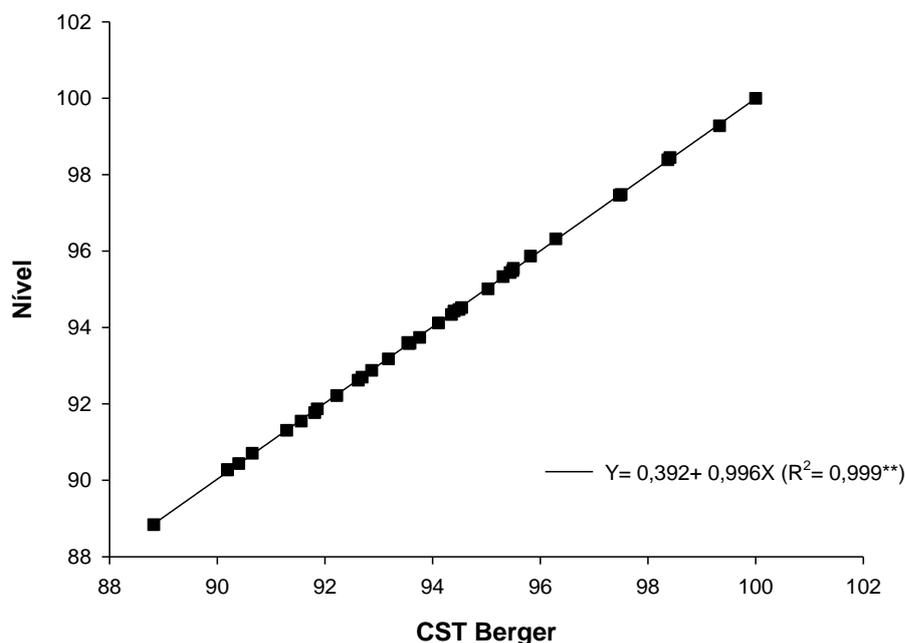
Nas três equações pode ser observado  $R^2$  tendendo à 1, que indica altíssima correlação entre equipamentos comparados.



**Gráfico 1.** Correlação e equação de ajuste para dados da Estação Total



**Gráfico 2.** Correlação e equação de ajuste para dados do Teodolito Wild



**Gráfico 3.** Correlação e equação de ajuste para dados da estação Teodolito Berger

## 6 CONCLUSÕES

A elaboração de mapas planialtimétricos para projetos rurais e/ou ambientais pode prescindir da utilização do Nivelamento Geométrico Composto visto que não há diferença significativa no valor de cotas entre os equipamentos comparados.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTIOLI, G. M. et al. Digitação de cadernetas topográficas planimétricas: comparação entre dois softwares, um em ambiente DOS e outro em ambiente WINDOWS. In: REUNIÃO CIENTÍFICA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO LAGEADO, 6, 1999, Botucatu.

**Resumos...** Botucatu: UNESP 1999. p.47.

ARTIOLI, G. M. et al. Geração de carta clinográfica através de dados pontuais (DATAGEOSIS) e isolinhas (ábaco analógico). In: REUNIÃO CIENTÍFICA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO LAGEADO, 7, 2000, Botucatu. **Resumos...** Botucatu: UNESP 2000. p.83.

BATISTA, I.F. **Variabilidade espacial da umidade do solo em irrigação por gotejamento sob cultivo protegido**. 2002. 113 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

BIASI, M. de. Carta de declividade de vertentes : confecção e utilização. **Boletim de Geomorfologia da USP**, v.21, p. 8-13, 1970.

BUCENE, L.C. et al. Comparação de métodos de interpolação e análise espacial em dados de Ph, em Botucatu - SP. **Irriga**, Botucatu, v. 8, n. 1, p. 21 – 38, 2003.

CAMPOS, S.P. de. **Planejamento do uso do solo através do sistema de informações geográficas IDRISI**. 1996. 124 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996.

CAMPOS, S.P. de et al. Obtenção de modelo digital de elevação utilizando o SURFER-5.0 com dados importados do SIG IDRISI 4.1. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 12, n. 3, p. 26 - 32. 1997.

CARDOSO, L.G. et al. Modelagem numérica da superfície através de um software topográfico: densidade e posicionamento de pontos. In. REUNIÃO CIENTÍFICA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO LAGEADO, 7, 2000 Botucatu. **Resumos...** Botucatu: UNESP, 2000. p.84.

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

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

GODOY, R. **Topografia básica**. Piracicaba: FEALQ, USP, 1988. 349p.

GOMES, L.N. et al. Diferenças no traçado das curvas de nível de plantas planialtimétricas em função do tamanho da malha triangular utilizada na modelagem numérica da superfície. In: REUNIÃO CIENTÍFICA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO LAGEADO, 7, 2000 Botucatu. **Resumos...** Botucatu: UNESP 2000. p.82

GOMES, L.N. et al. Precisão de plantas planialtimétricas em função do posicionamento de pontos em irradiadas de campo, submetidas ou não à modelagem numérica de superfície. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESP, 14., Presidente Prudente. **Anais...**Presidente Prudente: UNESP, 2002.

PEREIRA NETO, O.C.; VALÉRIO FILHO, M. Análise comparativa de métodos para elaboração de cartas de declividade aplicadas a estudos do meio físico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba,. **Anais ...** Curitiba, 1993. p. 226 – 232.

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

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

STEIN, D. et al. Bases técnicas para a recuperação da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, oeste paulista. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 5. 1995, Bauru. **Anais...** Bauru: UNESP., 1995. p. 311-313.

VALENTE, R. de O.A., VETTORAZZI, C.A. Mapeamento de risco de incêndios florestais, em nível regional, por meio de técnicas de geoprocessamento, na bacia do Rio Corumbataí (SP). In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 6., 1998, Piracicaba. **Resumos...** Piracicaba: USP, 1998.