ELABORAÇÃO E ANÁLISE DE MODELO DIGITAL DE TERRENO COM DADOS DE POSICIONAMENTO GNSS-RTK E DOIS INTERPOLADORES

Liliane Bernardes Cruvinel[1]
Jaqueline Vicente Matsuoka[2]

RESUMO

O Modelo Digital de Terreno (MDT) é um produto que define matematicamente o comportamento altimétrico do relevo, a partir de uma amostragem de coordenadas de pontos levantados por alguma técnica de posicionamento. Um dos métodos que vem ganhando cada vez mais destaque é o posicionamento por GNSS (Global Navigation Satellite System) utilizando o método RTK (Real Time Kinematic), devido a sua alta produtividade em campo e possibilidade de alcance de boa precisão. Neste trabalho o objetivo foi gerar e avaliar a qualidade de um MDT obtido por amostras de pontos levantados por posicionamento GNSS-RTK e também comparar dois métodos de interpolação: o inverso do quadrado da distância e a krigagem. O levantamento de campo foi realizado em uma área no entorno do Centro Universitário Mário Palmério (UniFucamp), em Monte Carmelo – MG. Um total de 511 pontos foi utilizado para a geração do MDT e 168 pontos de teste foram utilizados para a análise da qualidade. Os resultados obtidos mostraram a facilidade e rapidez na utilização do GNSS pelo método RTK. A análise da qualidade dos MDTs mostrou que 75% dos pontos de teste tem erro em altitude elipsoidal abaixo de 11 cm e 13 cm para o MDT gerado por krigagem e pelo inverso do quadrado da distância, respectivamente.

PALAVRAS - CHAVE: Modelo Digital do Terreno; Relevo; GNSS.

ABSTRACT

The Digital Terrain Model (DTM) is a product that mathematically defines the elevation behavior of the relief, from a sampling of point coordinates obtained by some positioning technique. One of the methods that is increasingly gaining attention is Global Navigation Satellite System (GNSS) positioning using the RTK (Real Time Kinematic) method, due to its high field productivity and the possibility of good accuracy range. In this work the objective was to generate and evaluate the quality of an DTM obtained by point samples obtained by GNSS-RTK positioning and also to two interpolation methods: the inverse of the square of the distance compare and the kriging. The field survey was carried out in an area around the Mário Palmério University Center (UniFucamp), in Monte Carmelo - MG. A total of 511 points were used for MDT generation and 168 test points were used for quality analysis. The results showed the ease and speed of using GNSS by RTK method. The quality analysis of the DTMs showed that 75% of the test points had an error in ellipsoidal altitude below 11 cm and 13 cm for the kriging MDT and the inverse square of the distance, respectively.

KEYWORDS: Digital Terrain Model; Relief; GNSS.

[1] Graduada em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Mário Palmério – UNIFUCAMP
[2] Mestre em Ciências Cartográficas pela Universidade Estadual Paulista - UNESP

1. INTRODUÇÃO

O Modelo Digital de Terreno (MDT) é a representação matemática contínua da distribuição espacial das variações de altitude no terreno. O MDT é um produto que define matematicamente o comportamento altimétrico do relevo, a partir de uma amostragem de pontos coletados com coordenadas conhecidas. A representação visual mais usual é através das curvas de nível em um plano e também em vistas em perspectivas. Com recursos computacionais aliados a tecnologia de coleta de dados é possível extrair medidas tridimensionais com detalhes e precisão, além de interagir com o modelo para visualizar em diferentes pontos de vista. (FELGUEIRAS,2001)

Para Moreira (2003), o estudo do relevo de uma região é necessário em muitas atividades de engenharia, como nivelamento de perfil para obras rodoviárias, saneamento, mineração e locação de fundações e superestruturas em edificações. Apesar da ampla utilização e alta precisão obtida, o nivelamento geométrico tradicional possui limitações como alto custo e tempo de execução, pois são necessários vários operadores e requer cuidados técnicos minuciosos para evitar a ocorrência e a propagação de erros sistêmicos.

O posicionamento GNSS (Global Navigation Satellite System*)* pode ser realizado por meio de diversos métodos, destacando-se entre eles o posicionamento relativo estático e o posicionamento cinemático em tempo real (Real Time Kinematic- RTK). O método RTK proporciona maior rapidez na determinação da posição horizontal e da altitude elipsoidal, sendo possível seu uso para a geração de MDT, aumentando muito a produtividade de coleta de pontos em campo. O posicionamento GNSS determina a altitude elipsoidal e não a preterida altitude ortométrica (vinculada ao geóide). Porém, para pequenas áreas (caso do presente estudo) isto não é problema, pois, a variação da altura geoidal é praticamente nula.

1.1 OBJETIVO GERAL

Neste trabalho o objetivo foi gerar e avaliar a qualidade do MDT gerado a partir de pontos coletados por posicionamento GNSS-RTK e usando dois interpoladores muito conhecidos: krigagaem e inverso do quadrado de distância. O local de estudo está localizado em uma área nas proximidades da UNIFUCAMP (ver Figura 5).

1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

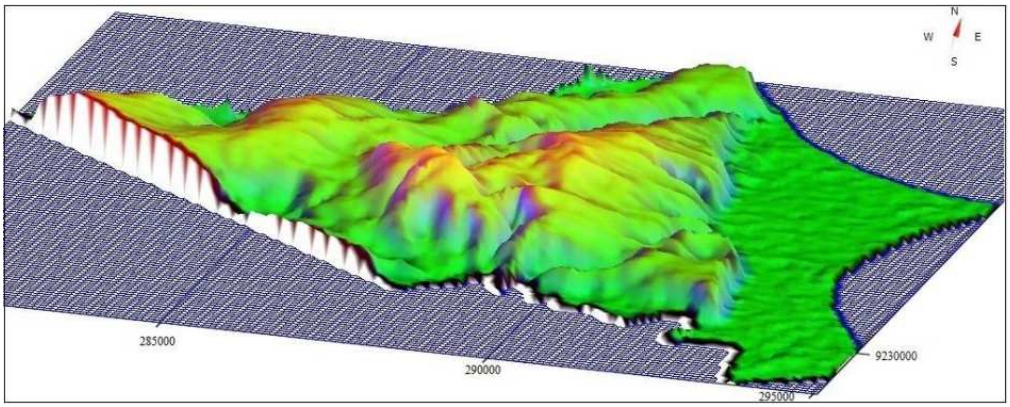
Coletar dados altimétricos em campo utilizando um aparelho GNSS;
Realizar o processamento dos dados;
Realizar o processo de interpolação utilizando métodos já consolidados e gerar um modelo numérico do terreno;
Avaliar os resultados

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. MODELO DIGITAL DO TERRENO

Para Dias (2016) um Modelo Digital de Terreno (MDT) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Dados de relevo, informação geológicas, levantamentos de profundidades do mar ou de um rio, informação meteorológicas e dados geofísicos e geoquímicos são exemplos típicos de fenômenos representados por um MDT. Dentre alguns usos do MDT pode-se citar: armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos; análises de corte aterro para projeto de estradas e barragens; elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio a análise de geomorfologia e erodibilidade; apresentação tridimensional. Para a representação de uma superfície real no computador é indispensável a elaboração e criação de um modelo digital, que pode estar representado por equações analíticas ou uma rede (grade) de pontos, de modo a transmitir ao usuário as características espaciais do terreno. A figura 01, apresenta um modelo tridimensional de uma área.

Figura 1 – Modelo tridimensional de uma área



Fonte: DIAS (2016).

A criação de um modelo digital de terreno corresponde a uma nova maneira de enfocar o problema da elaboração e implantação de projetos. A partir dos modelos (grades) pode-se calcular diretamente volumes, áreas, desenhar perfis e secções transversais, gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinza, gerar mapas de declividade e aspecto, gerar fatiamentos nos intervalos desejados e perspectivas tridimensionais. (FELGUEIRAS e CÂMARA, 2019).

2.2. AMOSTRAGEM

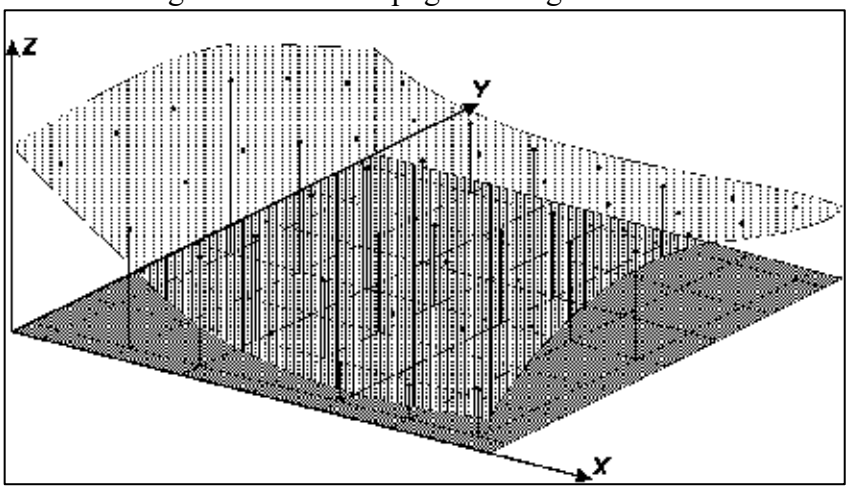
A amostragem compreende a aquisição de um conjunto de amostras que representam a variação de um fenômeno espacial de interesse. Na definição de uma amostragem representativa, deve-se considerar a quantidade e também o posicionamento das amostras em relação ao comportamento do fenômeno a ser modelado, no caso o relevo. Uma superamostragem de altimetria numa região plana significa redundância de informações, enquanto que poucos pontos em uma região de relevo acidentado significam escassez de informações. As fontes mais comuns de amostras de modelos digitais de terrenos são: arquivos digitais, importados de outros sistemas, bases topográficas com isolinhas e pontos notáveis de máximos e mínimos, e levantamentos em campo transformados, de alguma forma, em informação digitais. Para dados de altimetria pode-se, por exemplo, realizar-se levantamentos em campo com o auxílio de posicionamento por GNSS. Um conjunto de amostras pode ainda ser obtido a partir de pares estereoscópicos de imagens de sensoriamento remoto (VETTORAZZI, 2019).

Os dados de modelo digital de terreno estão representados por coordenadas 3D (x,y,z). Quanto a posição relativa das amostras pode-se classificar a amostragem em: regular, semirregular e irregular. A amostragem regular é aquela cuja posição espacial (x, y) das amostras mantém uma regularidade de distribuição. As amostragens semi-regulares são aquelas que preservam a regularidade de distribuição espacial na direção x ou y mas nunca nas duas ao mesmo tempo. Amostragem por perfis, por exemplo, apresentam regularidade em uma direção pré-estabelecida (FELGUEIRAS e CÂMARAS, 2019). Uma amostragem irregular não segue nenhuma direção pré-estabelecida.

2.3. GRADES REGULARES

A grade retangular ou regular é um modelo digital que aproxima superfícies através de um poliedro de faces retangulares. Os vértices desses poliedros podem ser os próprios pontos amostrados caso estes tenham sido adquiridos nas mesmas posições xy que definem a grade desejada. A geração de grade regular ou retangular deve ser efetuada quando os dados amostrados na superfície não são obtidos com espaçamento regular. Assim, a partir das informações contidas nas isolinhas ou nos pontos amostrados, gera-se uma grade (a partir de algum método de interpolação) que representa de maneira mais fiel possível a superfície. Os valores iniciais a serem determinados são os espaçamentos nas direções x e y de forma que possam representar os valores próximos aos pontos da grade em regiões com grande variação e que, ao mesmo tempo, reduzam redundâncias em regiões quase planas (FELGUEIRAS e CÂMARA, 2019). A Figura 2, ilustra uma grade topográfica regular em 3D.

Figura 2 – Grade topográfica regular em 3D



Fonte: COMASTRI e TULER (2005).

O espaçamento da grade, ou seja, a resolução em x ou y, deve ser idealmente menor ou igual a menor distância entre duas amostras com cotas diferentes. Ao se gerar uma grade muito fina (densa), ou seja, com distância entre os pontos muito pequena, existirá um maior número de informações sobre a superfície analisada necessitando maior tempo para sua geração. Ao contrário, considerando distância grandes entre os pontos, será criado uma grade grossa que podendo acarretar perda de informação. Desta forma para a resolução final da grade deve haver um compromisso entre a precisão dos dados e do tempo de geração da grade (VETTORAZZI, 2019).

2.4. POSICIONAMENTO GNSS

O Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS) é composto por um conjunto satélites que transmitem sinais precisos para o posicionamento geográfico e engloba basicamente o sistema americano GPS (Global Positioning System), o russo GLONASS (Global Orbiting Navigation Sattelite System), o Galileo (da União Européia) e o Beidou/Compass (China).

O posicionamento realizado através de aparelhos receptores GNSS, pode ser realizado através de diversos métodos, inclusive pelo posicionamento relativo estático e pelo posicionamento em tempo real (RTK). No posicionamento relativo estático, dois ou mais receptores GNSS rastreiam satélites visíveis simultaneamente, por um período de no mínimo 20 minutos (MONICO, 2008).

No posicionamento em tempo real, são necessários pelo menos dois receptores GNSS coletando dados simultaneamente, onde um dos receptores é denominado estação de referência (base) posicionado sobre um ponto de coordenadas conhecidas e o outro receptor (receptor móvel) realiza a coleta de dados nos pontos de interesse. A estação base transmite os seus dados para a estação móvel que realiza o posicionamento relativo em tempo real, ou seja, possibilita a determinação da posição em tempo real. Quando as ambiguidades são solucionadas como números inteiros (desejável) a solução da posição é chamada de Fixa (Fixed) e, caso contrário, como solução Float.

2.5. MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO

2.5.1. Inverso do Quadrado da Distância

Os interpoladores, como o próprio nome sugere, têm por função, atribuir valores a novos pontos inseridos num campo de valores já existente. O produto da interpolação gera uma malha contínua, regular ou irregular, com valores interpolados nas novas posições criadas pela malha.

O método do inverso do quadrado da distância é um interpolador médio ponderado, que pode ser exato ou suavizado. Com o inverso do quadrado da distância, os dados são ponderados durante a interpolação, de modo que a influência de um ponto em relação a outro, diminui com a distância do nó da grade. O peso é atribuído aos dados através do uso de uma ponderação, que

controla como os fatores de peso diminuem à medida que a distância do nó da grade aumenta (YANG et al., 2004).

Ao calcular o valor para um nó da grade, o pesos atribuídos aos pontos da amostra são frações, sendo a soma de todos os pesos iguais a 1 (YANG et al., 2004). Quando uma observação em particular coincide com um nó da grade, a distância entre essa observação e a grade nó é 0, então essa observação recebe um peso de 1,0 e todas as outras observações recebem pesos de 0,0. Portanto, o nó da grade recebe o valor do ponto coincidente (YANG et al., 2004).

2.5.2. Krigagem

A krigagem não é um simples método de interpolação estocástico, pois utiliza geoestatística para efetuar a interpolação, o que em muitos casos é uma grande vantagem sobre outros métodos. A krigagem define o grau de dependência ou correlação espacial entre as amostras por semivariograma. Uma vez modelado o semivariograma, é possível verificar o nível de anisotropia dos dados, e então definir os melhores pesos para as amostras. A krigagem pode ser um interpolador tanto exato como suavizado. Este método tenta expressar tendências sugeridas pelos dados, como por exemplo, pontos de elevada altitude ao longo de uma cadeia montanhosa podem ser conectados, ao invés de gerar efeito mira (MAZZINI e SCHETTINI, 2009).

Krigagem é um método de grade muito flexível. Os padrões de Krigagem pode ser aceito para produzir uma grade precisa de dados ou podem ser ajustados de forma personalizada a um conjunto de dados, especificando o modelo de variograma apropriado (FRANKE e NIELSON,1980).

3. MATERIAL E MÉTODO

O levantamento de campo foi realizado em uma pequena área do perímetro urbano próxima à Unifucamp. Utilizando um par de receptores GNSS Topcon Hyper V, um deles ficou estacionado em um ponto de coordenadas conhecidas, enquanto o outro receptor foi levado por um operador para que as coordenadas UTM (E, N) e altitude elipsoidal fossem coletadas em tempo real em cada ponto de interesse pelo método de posicionamento RTK.

Os pontos foram coletados com espaçamento de aproximadamente 10 metros entre eles, e para cada ponto considerou um tempo de ocupação de apenas 3 segundos, pois, o objetivo da pesquisa era usar o posicionamento RTK para garantir alta produtividade em campo. Somente pontos com coordenadas solucionadas com solução fixa para as ambiguidades foram obtidas.

Ao todo foram coletados 511 pontos para serem utilizados como amostras para a geração do MDT com os dois interpoladores: krigagem e inverso do quadrado da distância. O software utilizado foi o Golden Surfer 8 e os métodos de interpolação foram ambos utilizados com base na configuração padrão disponível pelo próprio software. A grade regular foi gerada com espaçamento de 50 cm entre os nós de pontos.

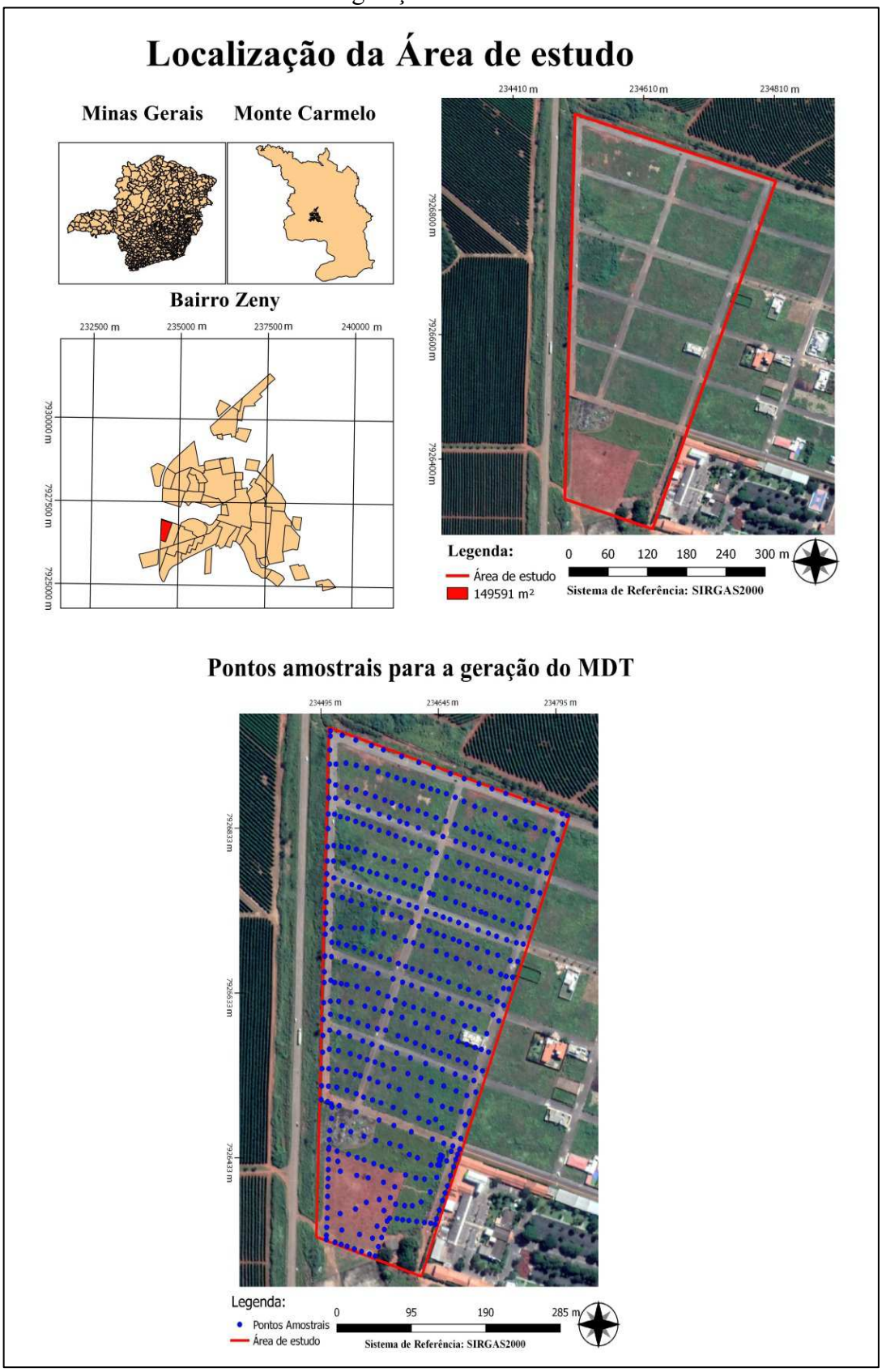
Em outro dia de levantamento de campo, usando o mesmo método de posicionamento, foram levantados 168 pontos dentro da mesma área com o objetivo de avaliar a qualidade dos dois MDTs gerados com cada interpolador e os 511 pontos amostrais. Poder-se-ia ter retirado uma porcentagem dos 511 pontos amostrais para a avaliação dos MDTs, porém, neste trabalho optou-se por uma avaliação mais criteriosa e um levantamento totalmente independente dos pontos amostrais é mais interessante.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 Pontos Levantados em campo para geração do Modelo Digital do Terreno (MDT)

Para a modelagem do MDT da área de interesse um total de 511 pontos foi levantado em campo utilizando o método d posicionamento RTK. Para cada ponto foram obtidas as coordenadas UTM (E, N) e a altitude geométrica (h). Todos as coordenadas de todos os pontos foram obtidas com solução fixa para a ambiguidade. A Figura 5 apresenta a localização em coordenadas UTM dos 511 pontos.

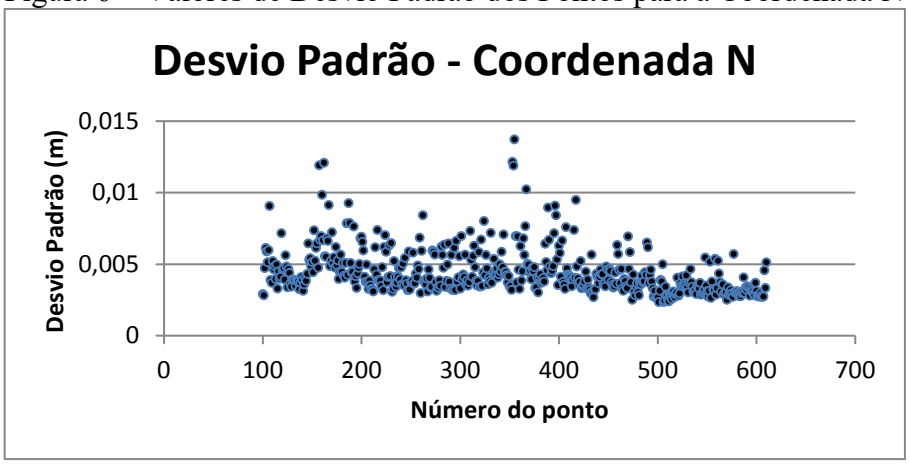
Figura 5 – Localização dos 511 Pontos levantados por posicionamento RTK GNSS para geração do MDT



Fonte: A autora (2019)

A Figura 6, apresenta os valores de desvio padrão dos 511 pontos para a coordenada N.

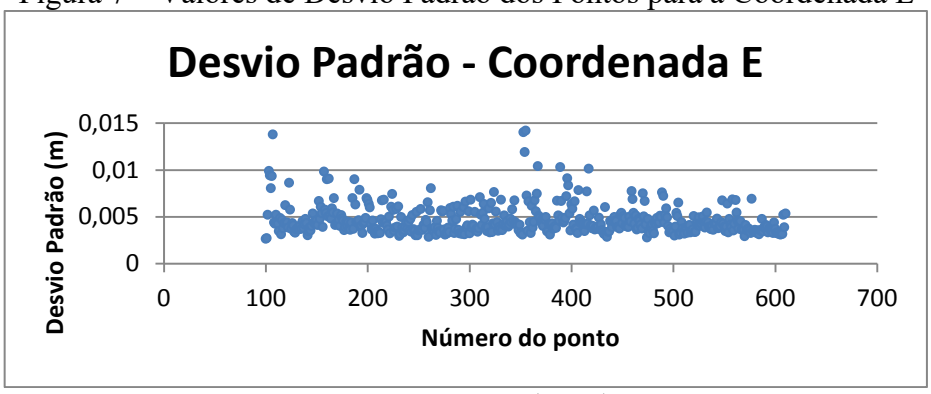
Figura 6 – Valores de Desvio Padrão dos Pontos para a Coordenada N



Fonte: A autora (2019)

A Figura 7, apresenta os valores de desvio padrão dos 511 pontos para a coordenada E

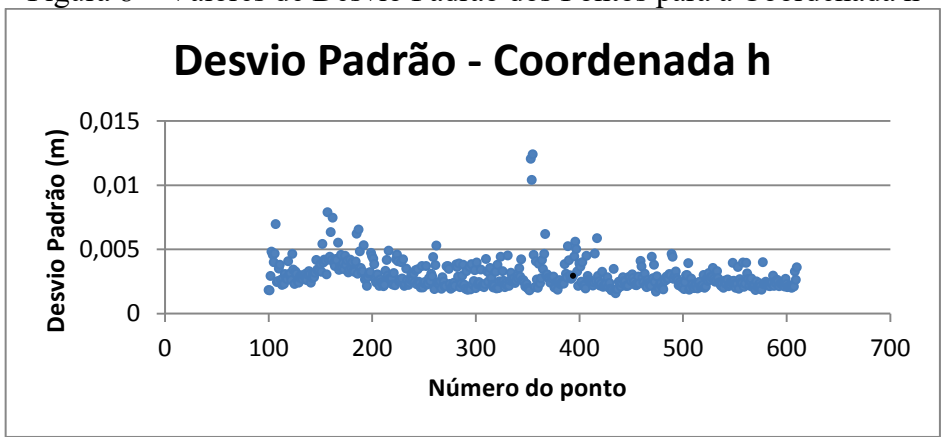
Figura 7 – Valores de Desvio Padrão dos Pontos para a Coordenada E



Fonte: A autora (2019)

A Figura 8, apresenta os valores de desvio padrão dos 511 pontos para a coordenada h

Figura 8 – Valores de Desvio Padrão dos Pontos para a Coordenada h



Fonte: A autora (2019)

Os valores médios do desvio padrão para as coordenadas N, E e h são, respectivamente, de 4,4 mm, 4,6 mm e 2,9 mm, sendo que 99% dos 511 pontos apresentam valores de desvio-padrão menor do que 1 cm, aproximadamente, para as três coordenadas.

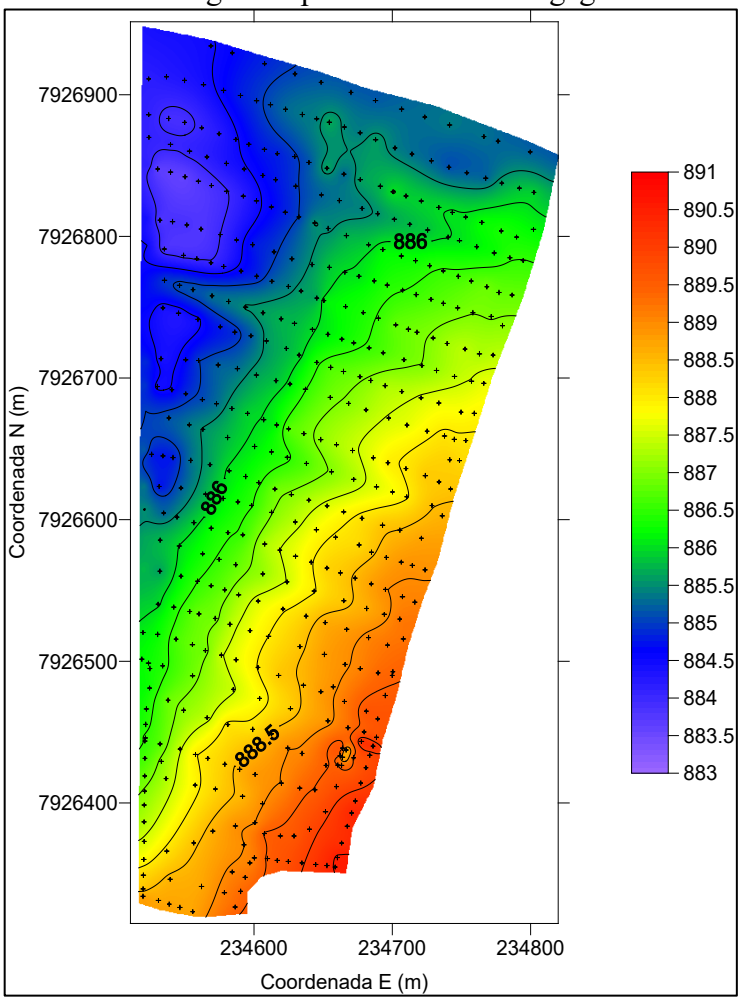
4.2 Geração do Modelo Digital do Terreno

Dois MDTs foram gerados para a área de estudo utilizando dois interpoladores: Krigagem e o Inverso do Quadrado da Distância, ambos os métodos de interpolação disponíveis no software Golden Surfer 8. Ambos os resultados serão apresentados e analisados a seguir.

4.2.1 MDT por Krigagem

Utilizando os 511 pontos e o método de Krigagem a partir do software Surfer 8, uma grade regular de pontos com espaçamento de 50 cm foi obtida e a Figura 9 apresenta a representação espacial dos valores de altitudes (em metros), ou seja, uma forma de apresentação do MDT da área por cores para representar a variável de interesse (no caso a altitude).

Figura 9 – Representação Espacial dos valores de Altitudes (em metros) - Modelo Digital do Terreno gerado pelo método de Krigagem.

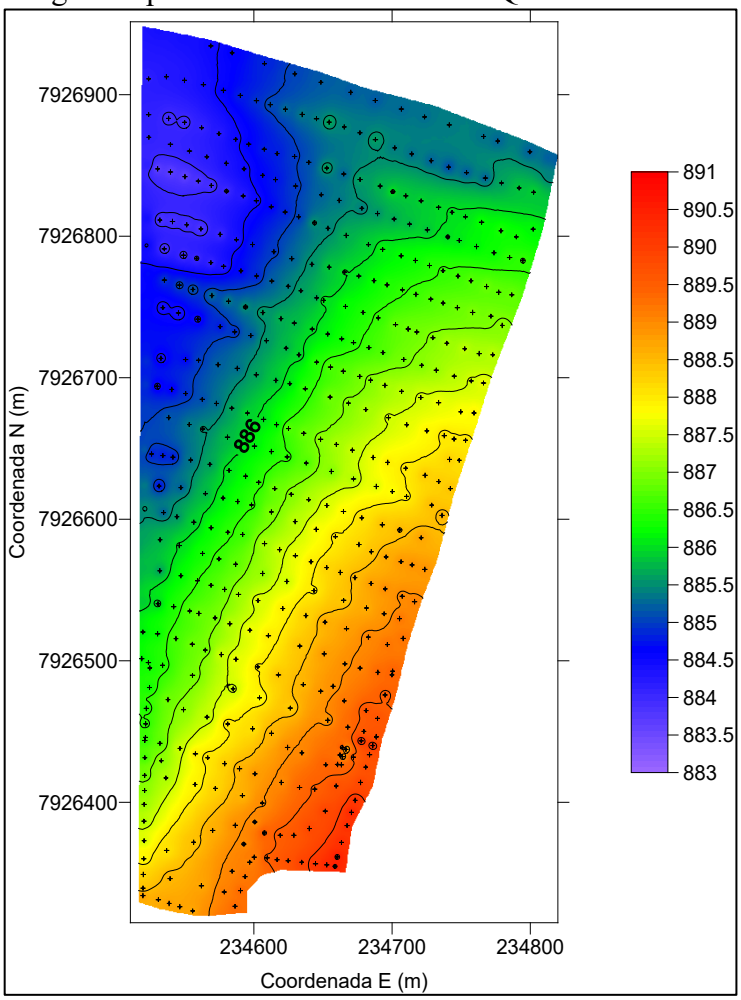


Fonte: A autora (2019)

4.2.2 MDT pelo Inverso do Quadrado da Distância

A grade regular de pontos com espaçamento de 50 cm com valores de altitude foi gerada utilizando o método de interpolação por Inverso do Quadrado da Distância. A Figura 10 apresenta o MDT que foi gerado, com os valores de altitude representado por escala de cores (em metros).

Figura 10 – Representação Espacial dos valores de Altitudes (em metros) - Modelo Digital do Terreno gerado pelo método de Inverso do Quadrado da Distância.



Fonte: A autora (2019)

4.3. Análise do erro dos MDT

Para avaliar a qualidade dos MDTs gerados por Krigagem e por Inverso do Quadrado da Distância, 168 pontos foram levantados em campo utilizando o mesmo método de posicionamento dos pontos usados para geração do MDT. A Figura 11 apresenta a localização em UTM dos 168 pontos de teste.

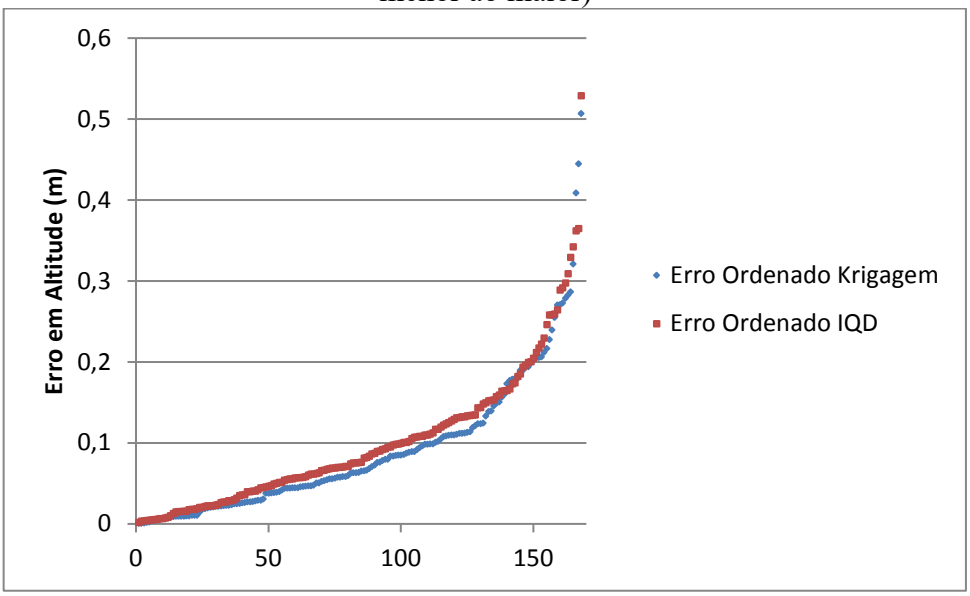
Figura 11 – Localização dos Pontos de Teste dos MDTs

Fonte: A autora (2019)

Os valores de desvio padrão das coordenadas dos pontos testes possuem também precisão de poucos milímetros, ficando todos os pontos com desvio padrão abaixo de 1 cm para as três coordenadas (N, E e h).

Com os MDT gerados por Krigagem e por Inverso do Quadrado da Distância (IQD) foram obtidas as altitudes para os 168 pontos de testes, e comparado com as altitudes conhecidas desses pontos levantados por RTK/GPS. A Figura 12 apresenta a qualidade dos MDTs a partir dos valores dos erros das altitudes esses 168 pontos, colocados no gráfico em ordem crescente.

Figura 12 – Valores dos Erros em Altitudes dos MDTs nos pontos Testes (ordenados do menor ao maior)



Fonte: A autora (2019)

Pela análise visual dos valores do erro em Altitude dos MDTs, pode-se verificar que de forma geral o MDT pelo método de Krigagem e pelo método do IQD apresentam uma qualidade praticamente iguais em termos de acurácia para os valores de altitudes. Pode-se observar que ambos MDTs tiveram aproximadamente 100 pontos (60% de 168) com erro em altitude abaixo de 10 cm.

Para enriquecer a análise a Tabela 1 apresenta os valores de percentis 50% (P50), 75%(P75) e 90%(P90) para os erros em altitudes dos dois MDTs e considerando os 168 pontos de teste.

Tabela 1 – Percentis dos erros em altitude dos dois MDTs (Krigagem e IQD)

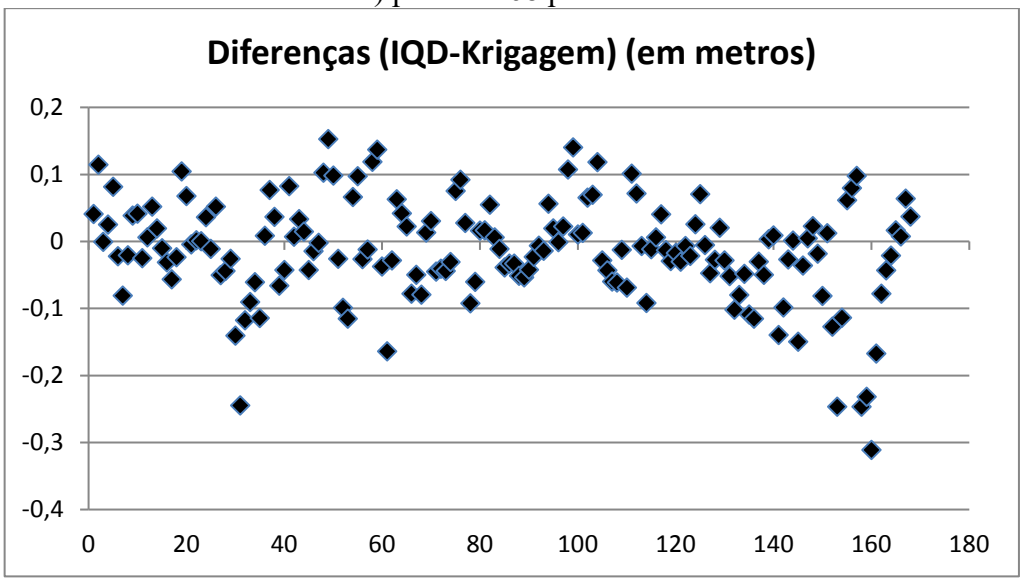
Percentis	Krigagem (m)	IQD (m)	Diferença (m)
P50	0,064	0,076	0,012
P75	0,114	0,134	0,020
P90	0,205	0,217	0,012

Fonte: A autora (2019)

Pela Tabela 1, pode-se verificar que para 50% dos pontos de testes o erro em altitude dos MDTs ficou abaixo de 6,4 cm e 7,6 cm, respectivamente, para Krigagem e IQD. Para 75% dos pontos de teste ficaram abaixo de 11,4 cm e 13,4 cm; e para 90% dos pontos os erros em altitude foram menores do que 20,5cm e 21,7 cm, respectivamente, para Krigagem e IQD.

Para fins de comparação, a Figura 13 apresenta a diferença entre as altitudes dos 168 pontos obtidos pelo MDT de Krigagem e o do IQD.

Figura 13 – Diferenças entre as altitudes obtidas pelo MDT de IQD e o de Krigagem (em metros) para os 168 pontos de teste

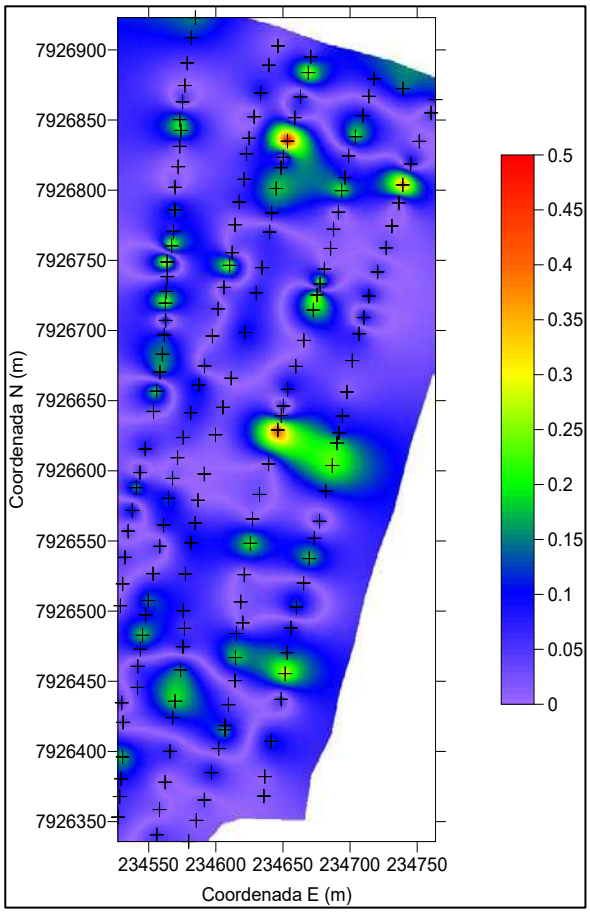


Fonte: A autora (2019)

O valor médio da diferença entre as altitudes dos MDTs é de -1,4 cm, com desvio padrão de 7,6 cm. O valor máximo e mínimo de diferença foi de 15 cm e -31 cm, respectivamente. Considerando valores das diferenças em módulo a média é de 5,7 cm com desvio padrão de 5,2 cm. Valores mínimo e máximo são de zero e 31 cm, respectivamente.

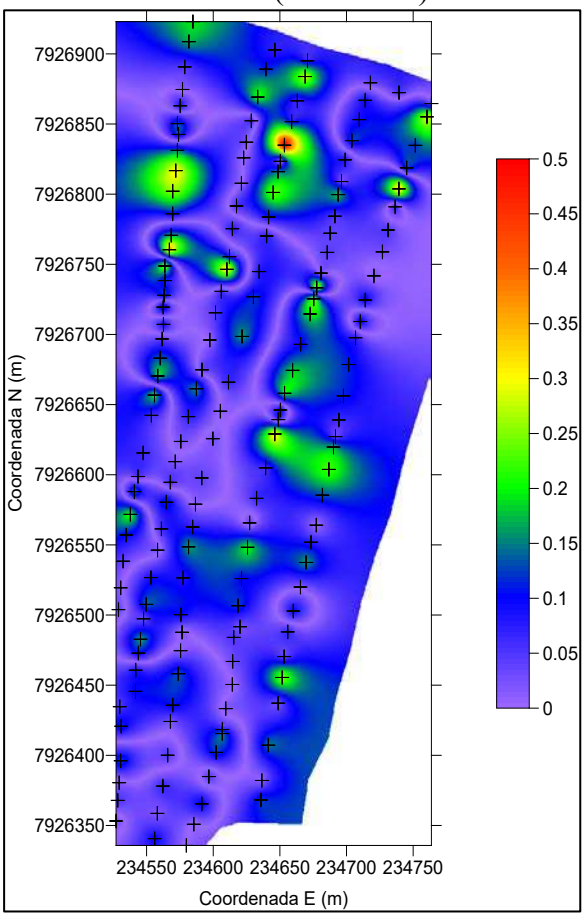
Para finalizar, com base nos erros em altitude dos 168 pontos de teste foi gerada uma superfície de erro em altitude do MDT de Krigagem e o de IQD (Figuras 14 e 15).

Figura 14 – Erro nas Altitudes do MDT gerado por Krigagem (em metros)



Fonte: A autora (2019)

Figura 15 - – Erro nas Altitudes do MDT gerado por Inverso do Quadrado da Distância (em metros)



Fonte: A autora (2019)

Como podemos ver a diferença entre os erros nas Altitudes do MDT gerado por Krigagem e os erros nas Altitudes do MDT gerado por Inverso do Quadrado da Distância são mínimas.

5 CONCLUSÕES

Analisando os resultados obtidos nesse trabalho, verificou-se que, embora a precisão das altitudes elipsoidais tenha apresentado valores menores que o milímetro, o erro gerado pelos MDTs (por ambos os métodos de interpolação) apresentaram valores da ordem dos centímetros e decímetros. Este fato pode estar relacionado com algo já bem relatado por usuários experientes da área de posicionamento GNSS que afirmam que os resultados de precisão informados pelos softwares na área do GNSS são muitas vezes muito otimistas.

Verificou-se que 50% dos pontos de teste de qualidade dos MDTs apresentaram erro abaixo de 6,4 cm para o MDT gerado por krigagem e de 7,6 cm para o gerado por inverso do quadrado da distância. Para 75% dos pontos de teste o erro foi abaixo de 11,4 cm e 13,4 cm, para o MDT por krigagem e por inverso do quadrado da distância, respectivamente. Por fim, os erros em altitude para 90% dos pontos de teste foram menores do que 20,5cm e 21,7 cm, respectivamente, para o MDT por Krigagem e por inverso do quadrado da distância.

Em resumo, pode-se concluir com base no experimento realizado neste trabalho que o posicionamento GNSS-RTK apresentou alta produtividade em campo e gerou ao final um Modelo Digital de Terreno com qualidade de centímetros até poucos decímetros, para ambos os métodos de interpolação (krigagem e inverso do quadrado da distância).

Em trabalhos futuros pretende-se avaliar a eficiência do mesmo método de posicionamento em terrenos mais acidentados, variar o tamanho da amostra de pontos e aplicar métodos computacionais inteligentes para a geração do MDT, como por exemplo, redes neurais artificiais.

REFERÊNCIAS

COMASTRI, J. A; TULER, J. C. **Topografia Altimetria**. 3° ed. 2005, 5° reimpressão. 20113 - Viçosa: UFV, 2005.

DIAS, Erika Rodrigues. **Geração de Modelo Digital de Elevação utilizando dados do SRTM como subsídio ao planejamento e gestão territorial do município de Lucena/PB**. Caderno de Geografia, v.26, n.45, 2016.

FRANKE, R.; NIELSON, G. Smooth Interpolation of Large Sets of Scattered Data**.** **International Journal for Numerical Methods in Engineering,** vol.15, n.2, 1980.

FELGUEIRAS, Carlos Alberto; CÂMARA, Gilberto. **Modelagem numérica de terreno**.

MAZZINI, P. L. F; SCHETTINI, C. A. F. **Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quasesinóticos.** Braz. J. Aquat. Sci. Technol., 2009.

MOREIRA, João Carlos; SENE, Eustáquio de. **Projeto Velear: geografia**. 1ª ed. São Paulo: Scipione, 2012.

MONICO, J. F. G**. Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações.** São Paulo: Unesp. 2008. 476p.

RIBEIRO, Carlos Alexandre Damasceno**. Sistemas de Informações Georeferenciadas**. Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo.

VETTORAZZI, Carlos. **Modelagem numérica de terreno.**

YANG, C.S.; KAO, S.P.; LEE, F.B.; HUNG, P.S. **Twelve different interpolation methods: a case study of Surfer 8.0. In: Proceedings of ISPRS Congress**; 20; 2004:778–785.