# VALIDAÇÃO DE MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO HIDROLOGICAMENTE CONSISTENTE (MDEHC)

LEANDRO JOSÉ DO CARMO POLETO CARLOS HENRIQUE CRESPO DA SILVA SEBASTIÃO RIBEIRO JÚNIOR CARLOS ANTÔNIO OLIVEIRA VIEIRA AFONSO DE PAULA DOS SANTOS

Universidade Federal de Viçosa - UFV Departamento de Engenharia Civil, Setor de Engenharia de Agrimensura Avenida Peter Henry Rolfs, s/n 36570-000 VIÇOSA - MG Tel.: (31) 3899-3036 leoeam@gmail.com {carcrespo\_ufv; srjunior2000}@yahoo.com.br carlos.vieira@ufv.br afonsopsantos@yahoo.com.br

**RESUMO** – Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) têm sido largamente empregados como base de dados cartográficos em modelagens de bacias hidrográficas. Porém, grande parte dos interpoladores utilizados pelos SIGs a fim de gerar esses MDEs foram desenvolvidos para representar fenômenos cuja distribuição espacial é contínua, gerando algumas distorções e, portanto, não sendo adequado seu uso em estudos hidrológicos, uma vez que distorcem as estimativas de escoamento superficial. Apesar de se obter MDEs hidrologicamente consistente com a utilização de ferramentas implementadas nos SIGs, para adequá-los as direções de escoamento e eliminar as depressões espúrias, não se conhece a confiança e as precisões das cotas obtidas pelo MDEHC, sendo necessário realizar uma averiguação dessas cotas com as cotas homólogas do terreno, a fim de se utilizar esse modelo como base de dados para análises futuras: consistentes e confiáveis. O objetivo deste trabalho é validar o MDEHC através da aplicação do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). Resultados apontam que o PEC pode ser facilmente aplicável para MDEHC, de acordo com as estratégias metodológicas, desenvolvidas nesse trabalho. O MDEHC gerado para a bacia do Ribeirão São Bartolomeu alcançou o PEC A de acordo com o teste qui-quadrado, embora apresente tendências na direção Z – como verificado pelo teste *t* student.

**ABSTRACT** – The Models of Digital Elevation (MDE) have been widely used as the basis of data in cartographic modeling of river basins. But much of interpolators used by GIS in order to generate these MDEs were developed to represent phenomena whose spatial distribution is continuing, creating some distortions and therefore is not appropriate to its use in hydrological studies, since distorting the estimates of runoff. Despite obtaining MDEs hydrologically consistent with the use of tools implemented in GIS, to tailor them the directions of flow and eliminate the spurious depressions, we do not know the confidence and the details of quota obtained by MDEHC, being necessary to conduct such an investigation of these quota with the quota of the land in order to use that model as a database for future analysis: consistent and reliable. The objective of this work is to validate the MDEHC through the application of Standard Accuracy Cartographic (PEC). Results indicate that the PEC can be easily applicable to MDEHC, according to the methodological strategies, developed in this work. The MDEHC generated for the seat of Ribeirão São Bartolomeu reached the PEC according to the chi-square test, but has tendencies toward Z - as verified by t test student.

# 1 INTRODUÇÃO

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) têm sido largamente empregados como base de dados cartográficos em modelagens de bacias hidrográficas. Sua popularidade é devida às amplas potencialidades dos sistemas de informações geográficas em processar informações, no qual esses modelos sempre são aplicados (GARBRECHT & MARTZ, 1999).

L. J. C. Poleto; C. H. C. Silva; S. R. Júnior; C. A. O. Vieira, A. P. Santos

#### Recife - PE, 8-11 de setembro de 2008 p. 000-000

Segundo ZANETTI et al. (2008), dentre os algoritmos disponíveis no mercado para geração de MDEs, pode se destacar o Topogrid Interpolation, pertencente ao software ArcInfo. Ele possui características métodos de interpolação local de (eficiência dos interpoladores computacional) e globais (continuidade superficial), e gera um arquivo matricial a partir de pontos cotados ou curvas de nível, no qual se podem impor linhas de ruptura, que podem ser: divisores de água, lagos e rede de drenagem. Como resultado obtém-se MDE.

Grande parte dos interpoladores utilizados pelos SIGs a fim de gerar esses MDEs foram desenvolvidos para representar fatores cuja distribuição espacial é contínua, por exemplo: umidade, temperatura, dentre outros. Porém, o uso desses interpoladores para representar o relevo gera algumas distorções, não sendo adequado seu uso em estudos hidrológicos, uma vez que distorcem as estimativas de escoamento superficial (HUTCHINSON, 1989).

Para grande parte dos estudos hidrológicos é utilizado um conjunto de informações derivadas da direção do escoamento, da bacia de contribuição, da declividade, da distância à foz, dentre outros fatores, por esse motivo existe uma necessidade de se obter um modelo digital de elevação consistente com esses itens, para que sejam gerados resultados coerentes com a realidade.

Apesar de se obter MDEs hidrologicamente consistente com a utilização de ferramentas implementadas nos SIGs, para adequá-los as direções de escoamento e eliminar as depressões espúrias, não se conhece a confiança e as precisões das cotas obtidas pelo modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC), sendo necessário realizar uma averiguação dessas cotas com as cotas homólogas do terreno, a fim de se utilizar esse modelo como base de dados para análises futuras: consistentes e confiáveis.

O objetivo deste trabalho é validar o MDEHC através da aplicação do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC).

## 2 EMBASAMENTO TEÓRICO

#### 2.1 MDE Hidrologicamente Consistente

Um modelo digital de terreno é considerado hidrologicamente consistente quando este representa adequadamente o relevo da região em estudo, a ponto de permitir a correta simulação dos processos hidrológicos ocorrentes na área.

A definição de MDEHC pode ainda ser expressa como: "a melhor representação digital do relevo capaz de reproduzir, com precisão, o caminho preferencial de escoamento da água superficial observado no mundo real" (ESRI, 1997).

É importante ressaltar que esses modelos hidrologicamente consistente são isentos de depressões espúrias, células cercadas por outras com maiores valores

L. J. C. Poleto; C. H. C. Silva; S. R. Júnior; C. A. O. Vieira, A. P. Santos

de elevação (FIGURA 1), que geram descontinuidade da drenagem, interrompendo o escoamento superficial além da segmentação da área de contribuição, impedindo a sua correta delimitação. Desta forma os MDEHC asseguram que o escoamento superficial originado a partir de qualquer ponto da bacia hidrográfica convergirá para a hidrografia e esta, para a respectiva foz (CARDOSO *et al.*, 2006).



Figura 1 – Caracterização de uma depressão espúria à esquerda e mesmo relevo representado após sua eliminação à direita.

#### 2.2 Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC

Os produtos cartográficos nem sempre apresentam um indicador de sua qualidade, uma vez que a verificação é um processo demorado e oneroso ao contratante do trabalho (GALO *et al*, 2001).

A qualidade das cartas e dos mapas pode ser subdividida em temática e posicional, que por sua vez pode ser subdividida em absoluta e relativa. A qualidade posicional absoluta compara as coordenadas homólogas de sistemas de referência conhecidos, enquanto a qualidade posicional relativa representa a comparação entre pontos homólogos originados de um sistema de coordenadas pré-estabelecido (MAROTTA & VIEIRA, 2005).

Estas qualidades podem ser avaliadas através do Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC (MAROTTA & VIEIRA, 2005), que é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos. Esses 90% de probabilidade correspondem a 1,6449 vezes o Desvio Padrão ( $\sigma$ ), representado na Equação (1).

$$PEC = 1,6449 * \sigma \tag{1}$$

Em outras palavras, as cartas quanto à sua exatidão altimétrica devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC, que exige que noventa por cento dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico – estabelecido segundo o decreto nº. 89.817 de 20 de Junho de 1984.

O PEC define a classe das cartas em função do valor em que a exatidão se enquadra, são eles:

• Classe A: Padrão de Exatidão Altimétrico: metade da equidistância entre as curvas de nível, sendo de

um terço desta equidistância o Desvio Padrão correspondente.

- Classe B: Padrão de Exatidão Altimétrico: três quintos da equidistância entre as curvas de nível, sendo de dois quintos o Desvio Padrão correspondente.
- Classe C: Padrão de Exatidão Altimétrico: três quartos da equidistância entre as curvas de nível, sendo de metade desta equidistância o Desvio Padrão correspondente.

Uma ferramenta que pode ser utilizada para coletar esses pontos de validação do modelo de forma rápida e eficaz é o GPS.

Para iniciar a validação do MDEHC pelo PEC, deve-se inicialmente realizar o teste de tendência, através das discrepâncias amostrais. Para um nível de significância pré-estabelecido, admite-se a não existência de tendência caso as discrepâncias médias amostrais sejam estatisticamente iguais à zero.

Para a verificação da existência de tendência, calcula-se previamente a média da soma das diferenças entre as altitudes (EQUAÇÃO 2).

$$\Delta h = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta h_i}{n} \tag{2}$$

Onde:

n é o número de pontos de controle.

 $\Delta h_i$  é a diferença obtida entre as altitudes da imagem e dos pontos de controle.

Em seguida, deve-se aplicar o teste de hipótese, onde:

 $H_0$ : Se  $\Delta h = 0$ , então h não é tendencioso.

H<sub>1</sub>: Se  $\Delta h \neq 0$ , então h é tendencioso.

Para este teste de tendência, supondo a distribuição t de Student e observando um nível de confiança  $(1 - \alpha)$  igual a 90% ( $\alpha = 0,10$ ), deve ser realizada uma comparação entre th com um valor limite t tabelado.

Assim, observamos pela tabela que, para t =  $t_{31, 0.05}$ , temos um valor limite t= 2,040. Dessa forma, se  $|t_h| < t$ , então a imagem estará livre de erros sistemáticos relacionado à altitude.

Para encontrarmos os valores de  $t_h$ , faremos o seguinte cálculo (EQUAÇÃO 3).

$$t_h = \frac{1}{D.P_{\cdot_h}} * \Delta h * \sqrt{n} \tag{3}$$

Onde:

 $D.P._{\rm h}$  é o desvio padrão das discrepâncias da diferença entre as altitudes.

Para a execução do teste qui-quadrado, são estabelecidas duas hipóteses, hipótese nula e hipótese alternativa (EQUAÇÃO 4).

$$H_{0}: \sigma_{calculado}^{2}h = \sigma_{tabelad}^{2}PEC_{h};$$

$$H_{a}: \sigma_{calculado}^{2}h\rangle\sigma_{tabelad}^{2}PEC_{h}$$
(4)

Além disso, este teste necessita também que seja encontrado um valor limite de  $\chi^2$ , (EQUAÇÃO 5).

$$\chi^2_{n-1,\alpha} = \chi^2_{30,0.10} = 40,256 \tag{5}$$

Para a execução do teste é necessário calcular o valor de  $\chi^2$  para as classes do PEC, (EQUAÇÃO 6).

$$\chi^{2}_{n-1,\alpha}h = (n-1)*\left(\frac{\sigma^{2}_{calculado}h}{\sigma^{2}_{tabelado}PEC_{h}}\right)$$
(6)

O valor de  $\sigma_{tabelado}PEC_h$  é estabelecido pelo Decreto nº 89.817 e varia em função da equidistância vertical das curvas de nível.

#### 2.3 GPS

A obtenção de coordenadas através do GPS é baseada na medida de distâncias entre o receptor e o satélite no plano orbital. Ao se conhecer as coordenadas dos satélites num sistema de referência apropriado, é possível calcular as coordenadas da antena do usuário nesse mesmo sistema de referência (MONICO, 2000).

Os sinais emitidos pelos satélites, assim como outras observáveis envolvidas nos processos de medidas, são influenciados por diversos fatores provocando erros aleatórios, sistemáticos e grosseiros. Alguns erros podem ser atenuados e até mesmo eliminados através do posicionamento relativo aumentando a precisão da determinação das coordenadas procuradas.

O posicionamento relativo é caracterizado pela simultaneidade das observações, ou seja, os receptores envolvidos devem rastrear, ao mesmo tempo, satélites comuns (MONICO, 2000). Podem ser usadas observações de pseudodistâncias, fase da onda portadora ou os dois combinados.

Segundo Mônico 2000, devido à alta acurácia proporcionada pelo sistema GPS e da alta tecnologia envolvida nos seus receptores, surgiu uma grande quantidade de usuários e de finalidades na obtenção do posicionamento GPS, como por exemplo, na agricultura de precisão, navegação em geral, posicionamento geodésico, controle de frotas, dentre outros.

#### 2.4 Referenciais Altimétricos

Para aplicações de mapeamento e engenharia foi determinado um sistema de referencial altimétrico mais preciso, ou seja, o geóide e associando a ele uma altitude com significado físico, a altitude ortométrica (IBGE, 2008).

Para que as altitudes geométricas (h) obtidas através do GPS, que são referidas ao elipsóide, modelo matemático de representação da superfície da Terra, possa ser utilizada nestas áreas, é necessário que elas sejam convertidas em altitudes "ortométricas" (H), referidas ao geóide (FIGURA 2). Para isso, precisa-se conhecer a ondulação geoidal (N), ou seja, a diferença entre essas duas superfícies referenciais (IBGE, 2008).

*Recife - PE*, 8-11 *de setembro de* 2008 *p.* 000-000

L. J. C. Poleto; C. H. C. Silva; S. R. Júnior; C. A. O. Vieira, A. P. Santos



Figura 2 – Representação dos diferentes referenciais altimétricos (geóide e elipsóide) assim como a relação entre eles, a ondulação geoidal (N).

A fim de se executar essa conversão da altitude elipsoidal (h), obtida através de GPS, em altitude ortométrica (H), pode-se utilizar de modelos matemáticos já conhecidos, (EQUAÇÃO 7).

$$N = h - H \tag{7}$$

## 4 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na zona da mata mineira, mais precisamente no município de Viçosa e faz parte do contexto da bacia hidrográfica do Rio Doce, se localiza entre os paralelos 20°44' e 20°50' latitude sul e entre os meridianos 42°51' e 42°53' longitude oeste de Greenwich, (FIGURA 3).

A Bacia do Ribeirão São Bartolomeu é formada pelos córregos Santa Catarina, Engenho, Posse, Araújo e Palmital. O revelo é fortemente acidentado apresentando algumas porções de área plana.



Figura 3 – Localização geográfica da bacia do Ribeirão do São Bartolomeu.

#### **5 METODOLOGIA**

Partindo das curvas de nível existentes para a Bacia e do limite da mesma, utilizou-se o *software ArcGIS* para transformar essas feições para *coverage*, através da ferramenta *Conversion Tools*.

Em seguida, a fim de se gerar o modelo digital de elevação (FIGURA 4) foi utilizado o comando *Grid Tools L. J. C. Poleto; C. H. C. Silva; S. R. Júnior; C. A. O. Vieira, A. P. Santos* 

#### Recife - PE, 8-11 de setembro de 2008 p. 000-000

do *software ArcInfo*, e dentro da opção *surface analysis* foi escolhido o método de interpolação *Topogrid Interpolation*, que exigiu como parâmetros: o nome do modelo digital do terreno a ser gerado, MDE, o tamanho das células da imagem (no caso, 5 metros), um conjunto de dados de elevação (as curvas de nível em formato *coverage*) e o limite da bacia (em formato *coverage*).



Figura 4 – Modelo Digital de Elevação da área de estudo gerado a partir das curvas de nível e do limite da bacia.

Porém, esse modelo digital de elevação gerado contém depressões espúrias, ou seja, não é adequado para simulação de processos hidrológicos na região. Por este motivo foi utilizada a ferramenta *Raster Calculator* pertencente à extensão *Spacial Analyst* do software ArcGIS a fim de se eliminar essas depressões espúrias e adequar o modelo aos processos hidrológicos.

O primeiro passo foi gerar um mapa temático relativo à direção de escoamento de cada célula do MDE, por meio da aplicação do comando *Flow Direction*, a partir do qual a direção do escoamento superficial é calculada através do método determinístico de oito células vizinhas, que considera apenas oito possíveis direções de escoamento para cada uma das células, sendo que o escoamento tenderá a fluir para a maior declividade encontrada na superfície do terreno.

É importante ressaltar que nesse modelo as maiores diferenças de nível no terreno e declividades ao redor do pixel central resultarão na direção de fluxo que será atribuída ao pixel central, por meio do código numérico representado para as direções de escoamento (FIGURA 5).



Figura 5 – Direções de fluxo possíveis para o pixel central.

Sequencialmente foram identificadas as depressões espúrias presentes no MDE existente, utilizando o comando *Fill Sinks*. Esse comando faz com que o sentido preferencial do escoamento superficial, que na natureza ocorre da maior para a menor elevação, seja sempre obedecido, representando fielmente o fenômeno observado na realidade.

Após a referida identificação das depressões, utilizou-se o comando *Watershed*, com a finalidade de obter a área de drenagem de cada uma dessas depressões.

Em seguida, através do comando *zonalfill* foi possível identificar as menores altitudes nas bordas das depressões. E, além disso, todas as células da borda da área de drenagem de cada depressão receberam o valor da menor altitude da borda da respectiva área de drenagem.

A fim de preencher as depressões espúrias foi utilizado o comando *condicional evaluation*, que substitui os valores das células com altitudes inferiores à menor altitude da borda da área de drenagem por esse valor.

Foram realizadas iterações até se obter as direções de escoamento que comprovam que o modelo está hidrologicamente consistente, ou seja, apresentam apenas oito direções de escoamento possíveis para cada pixel. Após esse procedimento tem-se um MDE dito hidrologicamente consistente, MDEHC.

A fim de validar o MDEHC gerado foram coletados 31 pontos via GPS, distribuídos aleatoriamente pela área da bacia (FIGURA 6).



Recife - PE, 8-11 de setembro de 2008

Figura 6 – Distribuição espacial dos pontos coletados via GPS na área da BHRSB.

De posse das observações de campo referente aos levantamentos realizados com o uso do GPS, foi possível, utilizando um software de cálculo de posicionamento por satélite, determinar as coordenadas dos pontos ocupados. Para obter uma maior precisão das coordenadas obtidas foi realizado o cálculo através do posicionamento relativo, com precisões na casa de milímetros.

Para se executar a validação, foi calculada a diferença entre as cotas obtidas pelos pontos coletados via GPS e os seus homólogos na imagem (TABELA 1). Porém as altitudes do MDEHC estavam relacionadas ao geóide (altitudes ortométrica) e a altitude dos pontos coletados via GPS estavam relacionados ao elipsóide (altitude geométrica), portanto foi necessário homogeneizar o referencial altimétrico, corrigindo a altitude geométrica pela ondulação geoidal.

Para se obter o valor da ondulação geoidal da área da BHRSB foi utilizado o software MAPGEO (IBGE, 2008), que exige como entrada um par de coordenadas da região de estudos. A ondulação geoidal obtida foi de 5,29 metros.

Recife - PE, 8-11 de setembro de 2008 p. 000-000

ID	Alt. GPS $(m)$	Alt. MDEHC (m)	Diferença (m)	t <sub>h</sub> (adim.)
1	787.495	787.676	-0.181	0.922
2	750.842	751.206	-0.364	1.854
3	780.767	779.488	1.279	6.516
4	741.324	741.209	0.115	0.586
5	730.869	730.931	-0.062	0.316
6	727.965	728.507	-0.542	2.761
7	694.838	696.330	-1.492	7.601
8	740.913	740.296	0.617	3.143
9	711.674	710.001	1.673	8.523
10	703.101	703.248	-0.147	0.749
11	743.837	745.323	-1.486	7.570
12	685.135	684.694	0.441	2.247
13	769.585	767.233	2.352	11.982
14	677.471	677.132	0.339	1.727
15	663.107	664.475	-1.368	6.969
16	660.606	659.182	1.424	7.254
17	668.336	668.682	-0.346	1.763
18	771.236	770.279	0.957	4.875
19	783.898	784.130	-0.232	1.182
20	677.724	677.760	-0.036	0.183
21	664.637	663.985	0.652	3.322
22	664.545	664.564	-0.019	0.097
23	722.656	722.320	0.336	1.712
24	631.768	630.004	1.764	8.987
25	661.105	663.736	-2.631	13.403
26	662.245	662.820	-0.575	2.929
27	675.258	675.683	-0.425	2.165
28	667.837	669.057	-1.220	6.215
29	753.552	752.386	1.166	5.940
30	755.819	756.905	-1.086	5.533
31	685.193	684.742	0.451	2.298

Tabela 1 – Diferença de Altitude entre GPS e MDEHC.

Em seguida foi analisado se o MDEHC gerado estava estatisticamente dentro do PEC exigido, para isso é realizado uma análise de tendência, com o objetivo de averiguar a presença de erros sistemáticos e em seguida avaliar a precisão com a aplicação do teste qui-quadrado  $(\chi^2)$ .

# Segundo especifica o Decreto nº 89.817, para que um documento se enquadre em uma determinada classe, a imagem analisada deverá atender à precisão altimétrica h, ou seja, $\chi^2_{n-1} < h < \chi^2_{n-1}$ .

# 6 RESULTADOS

Utilizando das equações citadas na metodologia deste trabalho e da norma para execução do PEC, decreto nº 89.817 de 20 de Junho de 1984, foi possível determinar o PEC altimétrico e sua precisão, juntamente com o desvio padrão dos pontos amostrados e a realização do teste qui-quadrado, (TABELA 2).

Tabela 2 – PEC altimétrico e valores qui-quadrado
calculados para as classes A, B e C.

Classa	Altimétrico		~	~	$\alpha^2$
Classe	PEC(m)	EP(m)	<b>U</b> PEC <sup>h</sup>	Ucalc	<b>X</b> calc
Α	2,50	1,67	1,18	1,09	25,6
В	3,00	2,00	1,41		17,8
С	3,75	2,50	1,77		11,4

Para visualizar a dispersão espacial das diferenças obtidas entre as altitudes da imagem e as altitudes obtidas via GPS, foi gerado um gráfico de dispersão da diferença (FIGURA 7).



Figura 7 – Dispersão da diferença de altitude entre o MDEHC e os pontos coletados via GPS.

Analisando a Figura 7, podemos concluir que, devido a dispersão das diferenças entre as altitudes ter variado homogeneamente em torno de zero, tanto para valores positivos ou negativos, implica que as observações são consistentes, percebe-se também que o somatório dos resíduos das observações é mínimo, dando credibilidade e confiança no MDEHC gerado.

Como resultado da metodologia apresentada neste trabalho, foi obtido um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente da Bacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu (BHRSB), (FIGURA 8).



Figura 8 – Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente para a BHRSB.

Ao analisar a existência de tendência nas altitudes, foi obtido um  $\Delta h=1,354$ , onde pela hipótese H<sub>1</sub> podemos dizer que existe tendência em relação a altitude.

Analisando os valores de  $t_h$  obtidos pela Tabela 1 e os comparando com o valor de t tabelado, encontramos que  $|t_h| > t$  em mais de 90% das altitudes observadas, o que resulta que a imagem possui erros sistemáticos referente à altitude.

A fim de se analisar a relação entre as altitudes obtidas na imagem e pelo GPS, foi obtido um gráfico que relaciona ambas as altitudes (FIGURA 9). Com este gráfico é possível observar que existe uma relação significativa entre as altitudes. Esta relação pode ser evidenciada pelo alto valor do índice R<sup>2</sup> (medida do grau de associação entre duas características a partir de uma série de observações) de regressão linear, o que significa que se existe diferença entre as altitudes observadas, esta diferença é linear e se aplicam a todos os pontos observados na forma de um modelo de translação na direção Z.



Figura 9 – Coeficiente de Regressão Linear entre os pontos coletados via GPS e os pontos homólogos na imagem.

Além disso, comparando-se o valor limite do teste estatístico aplicado  $\chi^2 = 40,256$  com os valores obtidos pelas classes A, B e C, observamos que a imagem analisada se enquadra na classe A do Padrão de Exatidão Cartográfico.

## 7 CONCLUSÕES

Com a realização deste trabalho foi possível verificar que o MDEHC da BHRSB pode representar os fenômenos da natureza quanto aos processos hidrológicos.

Ao observar o coeficiente de regressão obtido entre as altitudes, podemos concluir que se existe um deslocamento entre elas, este deslocamento é constante para toda a área da bacia, sendo assim, ele não afeta significativamente a determinação da declividade, conferindo a consistência das cotas da bacia com o escoamento hidrológico da mesma.

Além disso, a forma ideal de se validar a precisão altimétrica de mapas é através da utilização do PEC, que aplicado a esse trabalho, caracterizou o MDEHC gerado como pertencente à Classe A, ou seja, atendeu a maior precisão exigida por lei, apesar de apresentar tendências na direção Z.

Com isso podemos dizer que o MDEHC da BHRSB é consistente e apresenta precisões compatíveis para as realizações de análises hidrológicas.

É importante ressaltar que a validação deve se tornar um procedimento corriqueiro, uma vez que é necessária para se obter um padrão de informações com confiabilidade conhecida, propiciando a integração de diferentes bases de dados, permitindo análises complexas e soluções mais adequadas à realidade.

#### 8 REFERÊNCIAS

CARDOSO, C.A; DIAS, H.C.T; SOARES, C.P.B; MARTINS, S.V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo – RJ. Revista Árvore, volume 30, número 002, pg.241-248. Viçosa-2006.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. ARC/INFO v.7.1.1. Help on Line. Redlands, Califórnia: ESRI, 1997.

Galo, M.; Dal Poz, A. P; Ferreira F. M. Uso de Feições no Controle de Qualidade em Cartografia. In: Anais do XIX CBC - Congresso Brasileiro de Cartografia, Porto Alegre, Brasil, pp. 7-12. 2001.

GARBRECHT, J.; MARTZ, L. W. **Digital elevation model issues in water resources modeling.** In: Annual Esri Users Conference, 1999, California. Disponível em: <www.esri.com>. Acessado em: 16/05/2008.

HUTCHINSON, M.F. A locally adaptive approach to the interpolation of digital elevation models. Third

International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling. Santa Barbara: NCGIA, University of California, 1996.

IBGE. Modelo de Ondulação Geoidal. Disponível em: <a href="http://www.ibge.gov.br">http://www.ibge.gov.br</a>. Acessado em: 12 de Junho de 2008.

MAROTTA, G.S.; VIEIRA, C.A.O. Aplicação do Padrão de Exatidão Cartográfica em Imagens Orbitais ASTER para fins de Atualização de Mapeamentos. In: XXII Congresso Brasileiro de Cartografia. Viçosa, 2005.

MÔNICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR GPS. Descrição, fundamentos e aplicações.** Editora UNESP, 2000. São Paulo.

ZANETTI, S.S; OLIVEIRA,V.P.S; BRANCO, L.M.M; SOUSA, E.F. Geração De Modelo Digital de Terreno (MDT) Utilizando Sistema De Posicionamento Global (GPS) para o Planejamento Agro-Ambiental de uma Microbacia Hidrográfica. Disponível em: http://www.ebape.fgv.br/radma/doc/FET/FET-031.pdf. Acessado em: 16/05/2008. Recife - PE, 8-11 de setembro de 2008 p. 000-000