

Geração de modelos digitais de terreno a partir de dados de *laser scanner* aerotransportado em área de floresta usando o *software* livre GRASS

Alexandre Hering Coelho
Rosane Maciel Araújo Vargas

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Campus Universitário - Trindade CEP 88040-900 Florianópolis, SC, Brasil

ahcoelho@gmx.de
ecv3rav@ecv.ufsc.br

Resumo: Dados de *laser scanner* aerotransportado são de grande utilidade na obtenção de modelos digitais de terreno. Pontos medidos pelo sensor sobre os objetos podem ser filtrados dos dados com o auxílio de diferentes métodos. Alguns métodos foram desenvolvidos e implantados em *softwares* comerciais como o TerraScan™. Além de soluções comerciais existe também pelo menos uma alternativa implantada em *software* livre de código aberto: o GRASS. Nesse trabalho, modelos digitais do terreno são gerados com estes dois *softwares*, a partir de dados de *laser scanner* aerotransportado obtidos em área florestal. Os modelos são comparados com uma superfície de referência gerada a partir de levantamento topográfico. São abordadas considerações sobre os processos de filtragem e são apresentadas os resultados das comparações entre as diferentes superfícies. Este trabalho mostra que o GRASS, uma alternativa disponibilizada gratuitamente para uso, constitui uma ferramenta interessante na geração de modelos digitais de terreno.

Palavras-chave: *laser scanner* aerotransportado, modelo digital de terreno, *software* livre

Abstract: *Airborne laser scanner data is of great utility for digital terrain model generation. Points measured by the sensor on objects can be filtered out of the data with different methods. Some methods were developed and implemented on commercial softwares as the TerraScan™. Beyond commercial solutions there is also at least one alternative implemented on free open source software: the GRASS. In this work, digital terrain models are generated with these two softwares, from airborne laser scanner data gotten in a forest area. The models are compared with a reference surface, generated with topographical survey. Considerations about the filtering processes and the results of the comparisons between the different surfaces are presented. This work shows that the GRASS software is a free and interesting alternative for digital terrain model generation.*

Keywords: *airborne laser scanner, digital terrain model, open source software*

1. Introdução

Há pelo menos uma década (Lindenberger, 1993) a geração de Modelos Digitais de Terreno (MDT) passou a ter como opção de dados àqueles obtidos através de sistemas de varredura a *laser* aerotransportado (*Airborne Laser Scanning* - ALS). O ALS é um sistema de sensoramento remoto ativo, que integra um *laser scanner*, um GPS diferencial (DGPS) e um sistema inercial (IMU). Ele permite determinar as coordenadas tridimensionais de pontos amostrados sobre uma superfície. As coordenadas são calculadas a partir da medição do tempo necessário para que o feixe emitido percorra duas vezes a distância da aeronave à superfície, estando conhecida a orientação absoluta da aeronave (DGPS, IMU).

Um feixe *laser* quando se propaga no espaço apresenta uma divergência que resulta no diâmetro do ponto projetado na superfície (footprint). Sendo assim, cada raio do feixe pode encontrar mais de um objeto antes de atingir o solo, resultando em duas ou mais reflexões, ou pulsos de retorno. A maioria dos sistemas ALS é capaz de registrar todos os pulsos que retornam ao sistema, ou pelo menos o primeiro e o último pulso. O primeiro pulso fornece informações da porção mais elevada dos objetos, enquanto que o último pulso (na mesma posição horizontal) é refletido no nível mais baixo iluminado pelo *laser*.

Com as informações do primeiro pulso é possível modelar a superfície mais elevada contida nos dados, constituindo o Modelo Digital de Superfície (MDS). O Modelo Digital do Terreno

(MDT) é obtido por filtragem dos dados, onde os pulsos refletidos nos objetos amostrados acima da superfície topográfica (árvores e outras feições) devem ser eliminados. O MDT resultante da filtragem deve estar o mais próximo possível do modelo da superfície física do terreno.

Em áreas florestais, de acordo com a densidade do dossel e dos sub-bosques, pode ocorrer que poucos pulsos alcancem o terreno. Desta forma, é possível que ele não seja satisfatoriamente modelado. A quantidade relativa de pontos refletidos pelo solo é chamada de taxa de penetração (Coelho et al, 2002), que pode ser tão próxima de zero que impossibilite a obtenção do MDT.

Vários métodos já foram desenvolvidos visando a filtragem de dados de *laser scanner*, com o objetivo de gerar MDTs. Brovelli et al (2002) desenvolveram um método de filtragem que envolve detecção de contornos, classificação e interpolação para gerar MDTs. Este método foi implementado pelos autores no *software* GRASS (Geographic Resources Analysis Support System), licenciado pela *GNU General Public License* (GPL), estando seu uso e alteração permitidos para qualquer finalidade. Considerações gerais sobre o uso deste *software* e exemplos de aplicação podem ser encontradas em Coelho (2006).

Neste trabalho é apresentado um caso de uso do GRASS, utilizando os métodos implementados por Brovelli et al (2002), em uma área com cobertura vegetal variável entre campo, capoeira e floresta ombrófila alterada. O MDT resultante é comparado com o resultado da filtragem usando o *software* comercial TerraScan™ (Loch et al, 2004) e com uma superfície de referência obtida por levantamento topográfico de 217 pontos. O objetivo é verificar visualmente e quantitativamente a qualidade do MDT gerado com o auxílio do GRASS. Além disso, é visado divulgar na comunidade científica brasileira a existência de uma ferramenta, de uso gratuito e irrestrito, como alternativa para geração de MDT a partir de dados de *laser scanner*.

Na seção 2 são apresentados a área de estudos, os dados de *laser scanner* e da topografia obtidos na área e os recursos computacionais utilizados. Na seção 3 é descrito processo de filtragem dos dados através do GRASS e do TerraScan™. A seção 4 mostra o processo de interpolação e rasterização dos dados. A comparação visual e quantitativa das superfícies geradas por filtragem com a superfície obtida por topografia é feita na seção 5. Finalmente, na seção 6, são dadas as conclusões do trabalho.

2. Materiais e resumo do método

A área de estudos se encontra no município de Iranduba (AM). Consiste de uma faixa de aproximadamente 380m por 2200m, ilustrada na **Figura 1(a)**, caracterizada pela presença de vegetação que varia entre campo, capoeira e floresta ombrófila alterada.

Os dados de *laser scanner* provêm de um vôo realizado no primeiro semestre de 2004 pela empresa Esteio Engenharia e Aerolevantamentos S.A com o propósito de definição do traçado e execução do projeto do gasoduto entre as cidades de Manaus e Coari. Os dados são de propriedade da empresa Petróleo Brasileiro S.A. As **Figuras 1(c) e (d)** geradas com o módulo de visualização NVIZ do GRASS (Brown et al, 1995), ilustram respectivamente as nuvens de pontos dos dados de primeiro e último pulso do *laser* em perspectiva, com exageração em Z de 10 vezes. A nuvem de pontos do primeiro pulso é composta por 374.547 pontos e a nuvem do último possui 359.169 pontos.

Os dados da topografia resultaram de um levantamento com GPS e estação total realizado pela empresa Esteio, segundo a diretriz de implantação do gasoduto. Os marcos do IBGE existentes na área foram utilizados como referencial plani-altimétrico. O posicionamento horizontal dos pontos medidos é ilustrado na **Figura 1(b)**.

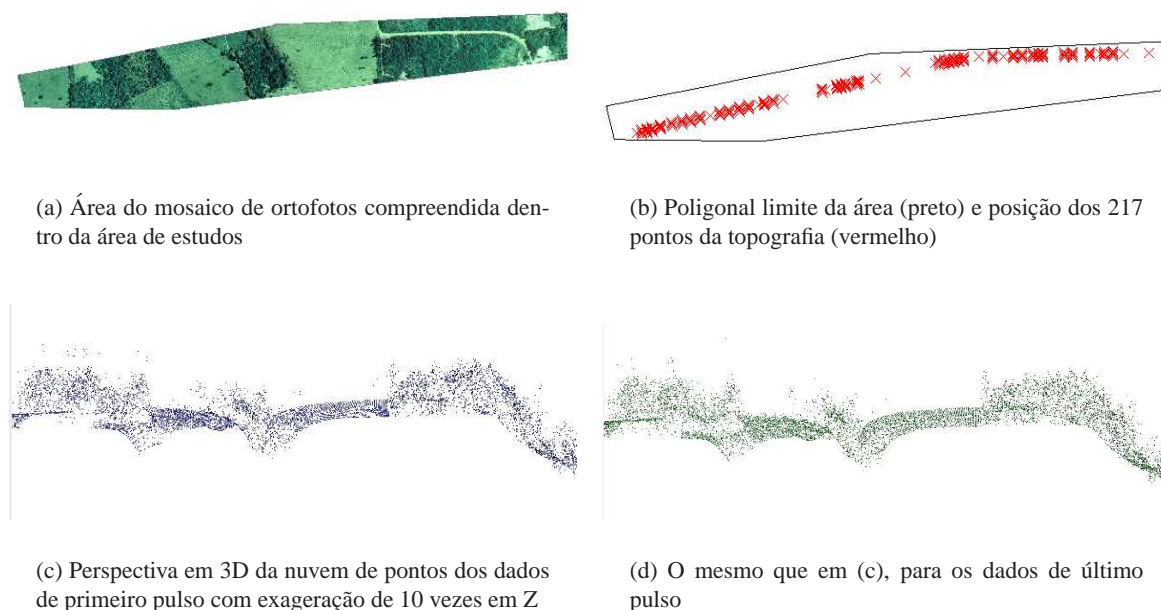


Figura 1. Área de estudos e dados ( \approx 500m)

O processamento dos dados foi feito com o auxílio de um computador com processador AMD Athlon XP 1800 MHz, 512 MB de memória RAM e placa de vídeo Nvidia com 32 MB de memória. É possível afirmar que esta seja uma configuração mínima para a realização do trabalho.

Os *softwares* utilizados foram o TerrascanTM e o GRASS. Como sistemas operacionais, foram utilizados respectivamente o Windows 2000TM e o SuSE Linux 9.2. O *software* GRASS requer outros *softwares* de suporte instalados no computador, também de licença GPL, como descrito em Coelho (2006). Estes *softwares* permitem ao GRASS o tratamento de projeções cartográficas (PROJ) e a leitura e gravação de dados raster e vetorial em diversos formatos (GDAL/OGR).

Os dados topográficos são interpolados por toda a área de estudos e esta constitui na superfície de referência para as comparações. Os dados de *laser scanner* são processados paralelamente com o auxílio dos *softwares* GRASS e TerraScanTM. Os dois terrenos resultantes são comparados visualmente e estatisticamente com a superfície de referência. Os resultados são então apresentados em uma tabela e em ilustrações.

3. Filtragem de dados

Os *softwares* GRASS e TerrascanTM processam a filtragem dos dados utilizando métodos distintos. Porém, ambos realizam o processamento mantendo os dados em sua forma original, isto é, processando e disponibilizando os resultados em forma de nuvem de pontos. Os dois *softwares* possuem outras diferenças interessantes, com respeito à maneira disponibilizada para a interação com o usuário e com a direção dada para o processo produtivo.

O TerrascanTM oferece a facilidade de uma operação mais intuitiva, estando disponíveis interfaces gráficas elaboradas, para o carregamento dos dados, operação do filtro e visualização

dos resultados. O GRASS permite também um controle amplo do programa, porém, em contraste com o TerrascanTM, não oferece interfaces gráficas. A utilização do GRASS é feita exclusivamente através de linha de comando. Desta forma, seus mais de 350 módulos (Neteler e Mitasova, 2004) devem ser ou invocados diretamente na linha de comando, com todos os seus parâmetros, ou reunidos dentro de *scripts*. Por um lado, esta característica do GRASS demanda maior tempo de treinamento até que estejam dominadas todas as suas características. Porém, por outro lado, a possibilidade de serem criados *scripts* permite a automatização de processos.

A seguir são descritos individualmente e em mais detalhes os processos de filtragem realizados com os dois *softwares*.

3.1. Usando o GRASS

A filtragem no GRASS é realizada pela aplicação sequencial de quatro módulos, devidamente parametrizados, que foram desenvolvidos por Brovelli et al (2002) e cuja utilização já foi relatada também em Turco et al (2005). Os módulos são os seguintes:

- *s.edgedetection*: Realiza detecção de contornos de objetos. O módulo gera um resultado que contém a classificação dos pontos de *laser* entre terreno, objeto e incerto.
- *s.growing*: Aplica o procedimento de crescimento de região. Os pontos são agora classificados como terreno, terreno com pulso duplo, objeto e objeto com pulso duplo.
- *s.correction*: Reclassifica os pontos entre as classes do módulo anterior, aplicando uma *spline* bilinear.
- *s.bspline.reg*: Utiliza uma *spline* de interpolação regularizada para remover dos dados os pontos que não foram classificados como terreno.

O arquivo resultante da aplicação do primeiro módulo é o arquivo de entrada do segundo, e assim sucessivamente até o quarto. Estes módulos estão presentes somente na versão 5.4 do GRASS, e devem ser incluídos manualmente no processo de compilação e instalação.

Os parâmetros envolvidos nos módulos são vários, envolvendo o tamanho para passos de *splines* bilineares e bicubicas, parâmetros de regularização de Tychonov, limiares para a magnitude de gradiente, ajuste de ângulo para detecção de contornos de objetos, limiares para alturas e limiares para resíduos. Foram feitos neste trabalho testes variando somente os passos para as *splines*. Para todos os outros parâmetros existem valores *default* inseridos nos módulos, que não foram alterados neste trabalho.

Além dos passos para as *splines*, a resolução do *grid* foi ajustada, para que o filtro produzisse melhores resultados. Para o ajuste destas variáveis foram seguidas as especificações de Brovelli et al (2002). Os autores recomendam que o passo para as *splines* nos módulos *s.edgedetection*, *s.growing* e *s.bspline.reg* seja de 3 a 4 vezes o valor da resolução do *grid* e que a área de estudos seja dividida em regiões que contenham até 200 *splines* em X e Y. Fixando estes dois valores, foi variada a resolução do *grid*.

A verificação do tamanho máximo de cada região, a divisão da área de estudos e a aplicação dos módulos envolvidos na filtragem foi automatizada em um *script Shell*. Neves (2006) define o *Shell* como um interpretador de comandos para sistemas operacionais UNIX de alto nível de sofisticação, que também pode ser utilizado como linguagem de programação. Esta ferramenta possui funções como *if* e *for*, que foram utilizadas para realizar a divisão da área de estudos em

regiões, o processamento da filtragem nas regiões individualmente e a reunião dos resultados em um arquivo único.

A **Figura 2** ilustra os resultados obtidos após a aplicação dos três primeiros módulos. Para serem mostrados desta forma, os pontos classificados foram rasterizados, com o auxílio do módulo `s.to.grast`, que rasteriza a nuvem de pontos sem executar interpolação.

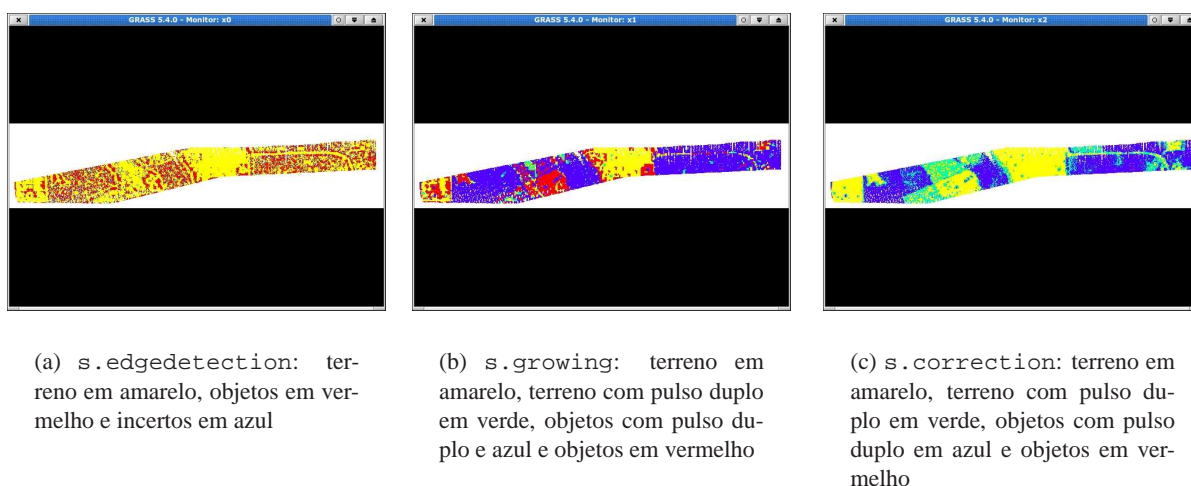


Figura 2. Ilustração dos resultados obtidos após a aplicação de módulos envolvido na filtragem

É possível perceber na **Figura 2(c)** a grande quantidade de pontos classificados como objeto, porém com dois pulsos distintos (azuis), e a quase inexistência de pontos classificados definitivamente como objetos (vermelhos). Isto faz com que a superfície gerada pela filtragem tenda a conter ainda parte dos objetos. Idealmente, as áreas com vegetação deveriam estar todas marcadas em vermelho, sendo eliminadas dos dados na geração do terreno. Isto pode ser buscado através de testes variando os valores *default* dos parâmetros nos módulos da filtragem. A influência destes parâmetros deve ser ainda estudada em detalhes. Porém, este é um tema para um próximo trabalho.

Dos 733.716 pontos de primeiro e último pulsos somados 28,87% foram classificados como terreno.

3.2. Usando o TerraScan™

A rotina de classificação de pontos do terreno é feita iterativamente através da construção de modelos de superfícies triangulares. O início da rotina ocorre com a seleção de alguns pontos baixos que são admitidos como pontos que tocam a superfície do terreno. O controle dessa seleção inicial dos pontos é feita através do parâmetro "tamanho máximo das construções" (*Max building size*). Como exemplo, admitindo o valor de 60m para esse parâmetro significa que a cada área de 60 por 60 m se tem pelo menos um ponto que toca a superfície do terreno, sendo este ponto o mais baixo dentro desta área.

O programa utiliza ainda outros parâmetros para a filtragem que estão apresentados na **Tabela 1** juntamente com os valores usados neste trabalho. Com exceção do ângulo do terreno, os demais parâmetros tiveram valores definidos experimentalmente com base na análise visual dos resultados de diversos testes de filtragem. O valor utilizado para o ângulo do terreno foi de 20° por ser a inclinação do trecho mais íngreme da área. Os valores usados para os

Parâmetro da Filtragem	Valor
Ângulo do terreno	20°
Ângulo de iteração	7°
Tamanho máximo das construções	10 m
Distância de iteração	1,40 m

Tabela 1. Parâmetros usados na filtragem dos dados no TerraScan™

parâmetros ângulo e distância de iteração estão dentro dos limites sugeridos pelos produtores do programa (Loch et al, 2004).

O prévio conhecimento do campo e a visualização na imagem de feições da área como uma estrada de terra e um curso d'água permitiram avaliar os resultados da filtragem. Foi utilizado para as avaliações um trecho com declividade próxima de 20°, coberto por vegetação e situado próximo ao curso d'água. Neste trecho os pontos situados abaixo da vegetação eram classificados ou não como terreno de acordo com o valor usado nos parâmetros, especialmente variável para o "máximo tamanho das construções" e ângulo do terreno. Já nos locais sem vegetação ou com relevo plano os resultados da filtragem pouco variavam.

O resultado da filtragem mostrou que 23,2% do total de pontos foram classificados como terreno.

4. Interpolação e rasterização usando o GRASS

Os resultados das filtrações utilizando o GRASS e o TerraScan™ são gerados em forma de nuvem de pontos. Para auxiliar na visualização destes resultados e em análises estatísticas, eles podem ser transformados para formato raster.

Com o auxílio do módulo `s.to.grast` a nuvem de pontos pode ser rasterizada sem que seja feita interpolação. Para realizar a comparação entre as superfícies foi optado por interpolá-las por toda a extensão da área de estudos. O módulo `s.surf.idw` auxilia nesta tarefa, onde as células em branco são interpoladas pelo método do inverso do quadrado da distância. Para limitar a área de atuação da interpolação deve ser definida uma máscara no GRASS. A interpolação e rasterização dos dados foi feita usando resolução de grade de 1,5m. As **Figuras 3(a), (b) e (c)** mostram as superfícies interpoladas e representadas em perspectiva.

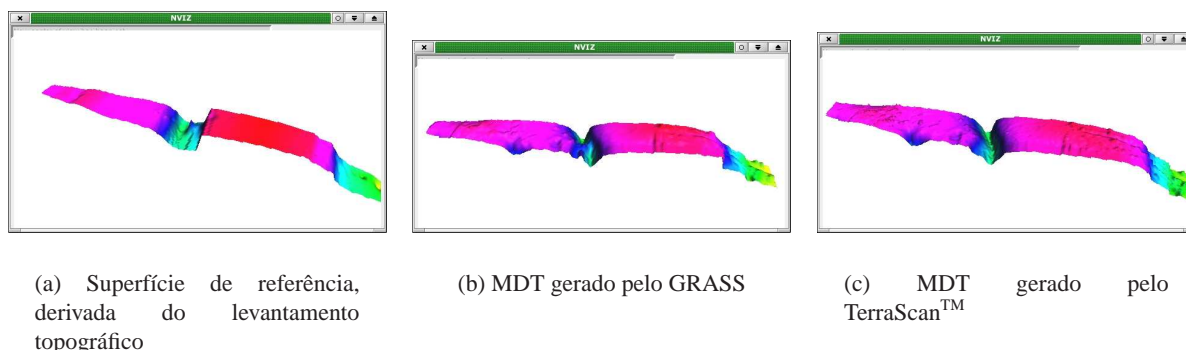


Figura 3. Ilustrações das três superfícies comparadas no trabalho. Exageração em Z de 10 vezes.

	Máximo (m)	Mínimo (m)	Média (m)	Desvio p. (m)	Parâm. <i>a</i>	Parâm. <i>b</i>
TerraScan TM - Topografia	10,5401	-8,3163	0,2583	2,1738	1,0037	0,0245
GRASS - Topografia	10,5333	-6,6998	0,4073	2,2863	1,0059	0,0439
GRASS - TerraScan TM	8,19845	-6,79747	0,1490	0,8780	1,0021	0,0214

Tabela 2. Diferenças obtidas entre os modelos de terreno

5. Comparação dos MDTs

Das superfícies resultantes da filtragem foi subtraída a superfície de referência utilizando o módulo `r.mapcalc`. Com o auxílio do módulo `r.univar` foi calculado o valor máximo, o mínimo, a média e o desvio padrão dos *layers* raster resultantes. Com o módulo `r.regression.line`, presente no GRASS 6.0, foram feitos cálculos de regressão linear entre os *layers* raster, seguindo $S_{ref} = a \times S_{teste} + b$, onde S_{ref} é a superfície de referência e S_{teste} é a superfície testada. A **Tabela 2** mostra os resultados.

As superfícies geradas pelo GRASS e pelo TerraScanTM ficaram em média mais altas do que a superfície de referência, o que também é indicado pelos coeficientes *a* ligeiramente maiores do que 1 e pelos coeficientes *b* ligeiramente maior que zero. A **Tabela 2** mostra que, estatisticamente, a superfície gerada pelo TerraScanTM, se aproximou mais da obtida por topografia do que a gerada pelo GRASS. É possível notar que a diferença entre as médias é maior do que a diferença entre os desvios padrão obtidos, na comparação entre as superfícies filtradas com a de referência. No caso de existir em algum dos levantamentos algum erro de referenciamento altimétrico, a maior diferença média obtida na análise do GRASS não seria somente atribuída ao seu método de filtragem.

Há de ser levado em consideração que a superfície tomada para referência, com apenas 217 pontos medidos em uma faixa de 20m de largura, pode não representar suficientemente bem a realidade física do terreno, onde a interpolação para a geração da superfície foi mais intensa. As **Figuras 4 (a), (b) e (c)** mostram que as diferenças pontuais são equivalentes nas superfícies geradas pelo GRASS e pelo TerraScanTM. Analisando estas figuras é possível verificar também que as maiores diferenças entre as superfícies ocorrem nos locais onde o terreno é mais inclinado e coberto por vegetação.

A superfície gerada pelo GRASS classificou 28,87% dos pontos de laser como sendo terreno, ou seja 5,67% mais do que o ocorrido com o TerraScanTM. Isto significa que mais pontos de *laser* medidos sobre a vegetação foram classificados como terreno no GRASS.

6. Conclusões

Neste trabalho foi mostrado o potencial do *software* livre GRASS como ferramenta para a geração de MDTs. O resultado da filtragem realizada com o GRASS foi comparada numericamente e visualmente com outras duas superfícies, obtidas por filtragem com o *software* TerraScanTM e por topografia.

Estatisticamente, a superfície gerada com o GRASS se aproximou menos da superfície de referência do que a gerada com o TerraScanTM. Analisando visualmente, foi possível verificar que as diferenças maiores se deram pontualmente, em locais de terreno mais inclinado e com vegetação mais densa.

Neste trabalho não foram feitos testes utilizando os vários parâmetros envolvidos nos quatro módulos para a filtragem no GRASS, sendo adotados simplesmente os valores *default* e variada

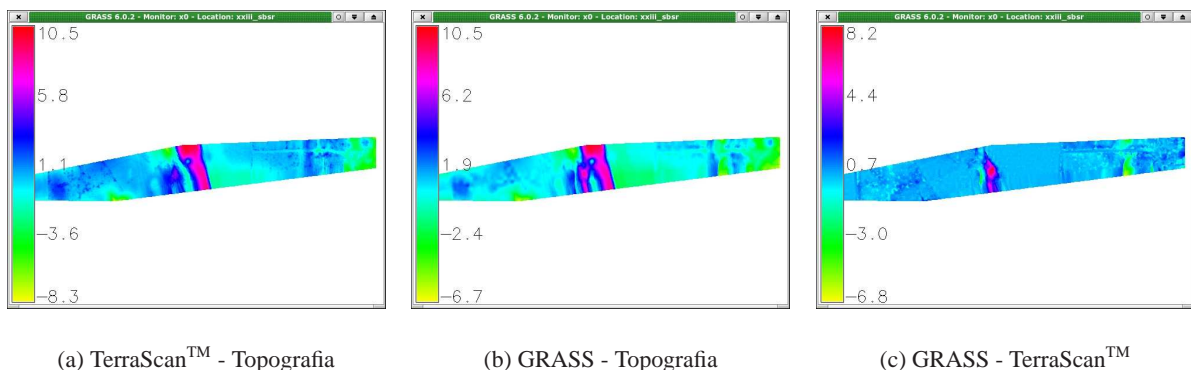


Figura 4. Layers raster representando as diferenças entre as superfícies

a resolução do *grid*. Deve ser verificado, em um próximo trabalho, se um melhor ajuste dos parâmetros pode produzir uma superfície mais próxima da de referência.

O GRASS, além de realizar o processo de filtragem dos dados de *laser scanner*, foi útil na organização, visualização e análise dos dados. Nuvens de pontos e superfícies podem ser visualizadas em 2D e 3D. As ferramentas para rasterização de nuvem de pontos e para as posteriores subtrações e análises estatísticas também estão presentes no GRASS.

Por não estarem disponíveis interfaces gráficas para o acionamento dos vários módulos no GRASS, a sua utilização não é tão intuitiva como a que normalmente se encontra em *softwares* comerciais. Porém, a elaboração de *scripts* em *Shell* automatiza o processo. Com isso análises mais complexas, que envolvam vários módulos do GRASS, e até mesmo outros programas de UNIX, podem ser facilmente realizadas.

Referências

- Brovelli, M. A.; Cannata, M.; Longoni, U. M. *Managing and processing lidar data within GRASS*. In: *Open source GIS - GRASS users conference 2002*. **Anais**. Trento, Italy: [s.n.], 2002.
- Brown, W.M.; Astley, M.; Baker, T.; Mitsova, H. *GRASS as an Integrated GIS and Visualization System for Spatio-Temporal Modeling*. In: *Proceedings of Auto Carto 12*. **Anais**. Charlotte, N.C, 1995.
- Coelho, A. H.; Vögtle, T.; Weindorf, M.; Bähr, H.-P. Utilização do método de pirâmide de imagens para a extração de modelos digitais de terreno de imagens geradas por dados de *laser scanner*. In: V Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. **Anais**. Florianópolis, Brasil, 2002.
- Coelho, A. H. Montagem de um SIG em *software* livre. In: VII Congresso de Cadastro Técnico Multinacional e Gestão Territorial. **Anais**. Florianópolis, Brasil, 2006.
- Lindenberger, J. *Laser-Profilmessungen zur topographischen Geländeaufnahme*. In: *Band 400 der Reihe C. Deutsche Geodätische Kommission, München*, 1993.
- Loch, R. E. N.; Vargas, R. M. A.; Schäfer, A. G. Filtragem e classificação de pontos *laser scanner* utilizando o *software* Terrascan. In: Geodesia online. **Anais**. Florianópolis, 2004.
- Neteler, M; Mitsova, H. *Open Source GIS: A GRASS GIS Approach*. Second Edition. *The Kluwer international series in Engineering and Computer Science (SECS): Volume 773*. Kluwer Academic Publishers/Springer, Boston ISBN: 1-4020-8064-6. 2nd Edition August 2004, 420 pages.
- Neves, J. C. **Programação Shell Linux**. 6a edição. Rio de Janeiro : Brasport, 2006. ISBN 85-7452-264-3.
- Turco, S.; Alberti, G.; Barilotti, A.; Bonfanti, P.L. *Processamento di dati laser scanning con GRASS GIS per la determinazione automatica di parametri inventariali forestali*. In: 6° Meeting degli Utenti Italiani di GRASS. **Anais**. Roma, 14-15 aprile 2005.