



Tecnologia Laser Scanning na Realização de Levantamentos Topográficos de Precisão

Joaquim FONSECA¹, Herlander Fernandes² e Luís Santos³

¹ Sistopo, Lda - Queuz

² Geoide Geosystems, S.A. – Leiria

³ Leica Geosystems, Lda – Lisboa

(herlander@geoide.pt; joaquim.fonseca@sistopo.pt; luis.santos@leica-geosystems.com)

Palavras-chave: Laser Scanning, Infraestruturas rodoviárias, Modelos Digitais de Terreno

Resumo: A Geoide Geosystems, S.A. e a Sistopo, Lda. têm como uma das suas principais atribuições a recolha de informação topográfica com vista à elaboração de projetos de engenharia na área das infraestruturas rodoviárias, ferroviárias, aeroportuárias, etc. Para garantir os pressupostos de exatidão posicional inerentes à complexidade de tais projetos, os dois parceiros têm desenvolvido esforços no sentido de acompanhar as evoluções tecnológicas na área da geo-informação, para garantir aos projetistas bases topográficas cuja exatidão, qualidade e integridade sejam premissas inequívocas para o desenvolvimento de tais projetos. A Leica Geosystems, como uma referência mundial na área de soluções e tecnologias geoespaciais, tem sido a parceira privilegiada.

A produção de modelos digitais de terreno de alta precisão (sub-centimétrica) tem sido um dos grandes desafios colocados aos profissionais de topografia ligados a projetos e obras de engenharia. Para trabalhos cuja precisão altimétrica dos modelos seja um imperativo, tal só seria possível através de nivelamento geométrico e levantamentos clássicos discretos. Determinados casos, nomeadamente reperfilamento de pistas de aeroportos, plataformas de estradas, etc., que requerem modelos contínuos, só são possíveis de se conseguirem através de tecnologia laser scanning.

O presente artigo pretende dar a conhecer o trabalho desenvolvido conjuntamente entre a Geoide Geosystems S.A, Sistopo, Lda. e a Leica Geosystems Portugal, cujo objetivo foi testar a aplicabilidade da tecnologia laser scanning recorrendo a técnicas de observação que propiciassem o grau de precisão compatível com o exigido na produção de modelos digitais de terreno para projetos de beneficiação de autoestradas e aeroportos.



1. Introdução

As condições de regularidade superficial dos pavimentos das estradas e aeroportos têm implicações na vitalidade geral da economia e segurança dos passageiros. Ao melhorar a qualidade geométrica do pavimento está-se também a aumentar a sua vida útil e a eficácia dos programas de conservação preventiva e consequente melhoria da segurança dos utilizadores e da circulação dos bens.

Normalmente, os projetos de repavimentação das vias de comunicação são realizados recorrendo a modelos topográficos baseados no levantamento de perfis transversais da plataforma da via, cuja equidistância varia de acordo com o índice de regularidade superficial do pavimento, definido através do gráfico de IRI (*International Roughness Index*) (Branco, 2011).

Dados os constrangimentos causados pela intensidade do tráfego nas vias em exploração e também pelos custos bastante elevados provocados pelo fecho temporário das mesmas, os trabalhos de topografia têm de ser desenvolvidos de uma forma célere sem pôr em causa os pressupostos de exatidão posicional sub-centimétrica. Nessa perspetiva, esses modelos tornam o processo bastante moroso, principalmente quando as irregularidades superficiais são acentuadas.

Com o advento da tecnologia *laser scanning*, tem havido uma tendência cada vez mais acentuada da sua utilização, principalmente através do sistema *Mobile Laser Scanning*. No entanto, em projetos em que a Geoide, S.A e a Sistopo, Lda., participaram, os resultados obtidos através da tecnologia *Mobile Laser Scanning* ficaram aquém em termos de precisão altimétrica quando comparados com os modelos obtidos através de topografia clássica.

Neste estudo apresentamos os resultados obtidos utilizando o *laser scanning* terrestre estacionado em tripés ou plataforma fixa e respetiva comparação com os modelos discretos obtidos através de topografia clássica utilizando GNSS, estação total e nivelamento geométrico.

2. Modelos digitais de terreno

Os modelos digitais de terrenos (MDT) utilizados em projetos de repavimentação de vias de comunicação são normalmente realizados através de métodos topográficos, fazendo corresponder, num plano, as variações de altitude numa malha de distribuição espacial centrada na diretriz, obtendo assim a modelação numérica da plataforma da via.

2.1 Modelos digitais de terreno obtidos através de topografia clássica

Os modelos digitais de terrenos baseados no levantamento de um conjunto de pontos discretos posicionados sobre o respetivo perfil transversal são uma estrutura de dados bastante utilizada nos projetos de reperfilamento de vias, cumprindo assim um dos requisitos descritos nos cadernos de encargos dos organismos e empresas que geram essas infraestruturas rodoviárias em Portugal. A essa metodologia estão subjacentes os seguintes trabalhos:

- Materialização e observação de uma rede de apoio topográfico de precisão;
- Levantamento das guias internas para a definição geométrica da diretriz;
- Cálculo da diretriz utilizando o método de regressão (Kraemer, 1994);
- Implantação e levantamento dos perfis transversais;
- Criação do MDT para o estudo geométrico da via;
- Cálculo, por regressão, da rasante que melhor se ajusta aos pontos levantados (Kraemer, 1994);

A grande vantagem deste método está no alto rigor altimétrico dos pontos posicionados sobre os perfis, derivado do nivelamento geométrico da referência que identifica a posição de cada perfil e que serve de estação topográfica para o levantamento dos pontos discretos.

As desvantagens residem na morosidade dos trabalhos de campo, custos operacionais elevados, constrangimentos provocados ao normal funcionamento da infraestrutura, riscos de acidente, etc.



2.2 Modelos digitais de terreno obtidos através de laser scanning terrestre em posição estática

A utilização desta metodologia simplifica, de sobremaneira, os trabalhos de campo sem comprometer os pressupostos de exatidão posicional sub-centimétrica subjacentes a estes projetos. Uma das grandes vantagens resulta da criação de modelos contínuos através do processamento do MDT, utilizando a densa nuvem de pontos, de onde é também possível extrair informação vetorial para auxílio ao projeto. Os trabalhos de campo resumem-se às seguintes tarefas:

- Materialização, observação e cálculo de uma rede de apoio topográfico de precisão;
- Coordenação de alvos e marcas para o ajustamento das nuvens;
- Varrimento laser de corredores pré-definidos.

Após a conclusão dos trabalhos é necessário fazer, através de softwares específicos, a união e limpeza das nuvens de pontos, antes de se gerar o MDT.

A vantagem deste método está na significativa diminuição dos trabalhos de campo e o conhecimento de toda a área de estudo resultante da recolha contínua de informação geoespacial.

As desvantagens resultam no aumento do trabalho de gabinete e a necessidade de se utilizar computadores com capacidade para suportar o “peso” das nuvens de pontos ou *mesh* daí resultantes.

3. Caso de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito de um projeto de beneficiação de um troço de autoestrada A8, entre os Km 32+700 e 34+125, sentido sul/norte.

Numa primeira fase foi realizado o levantamento topográfico de perfis transversais com equidistâncias a variar entre 8.333m e 12.5m, definidos tendo em conta os valores do IRI fornecidos pelo cliente. Como sub-produto foi gerado um MDT a partir dos pontos levantados com a estrutura vetorial organizado no formato PK, Offset e Cota, referenciados à diretriz da via.

Numa segunda fase foi realizado um varrimento laser, utilizando o equipamento Leica P40, de um troço compreendido entre os PKs 33+100 e 33+456, utilizando o mesmo referencial de apoio topográfico para georreferenciar as nuvens. Para uma otimização altimétrica das nuvens, foram coordenados vários pontos de controlo ao longo da área de estudo. Após o processamento e tratamento das nuvens de pontos obtidas em cada estacionamento, foi gerado um MDT.

Da análise comparativa entre os dois métodos, foram encontradas diferenças altimétricas cujas amplitudes variam entre -0.013m e 0.010m e a média dos desvios não ultrapassa os 0.003m.

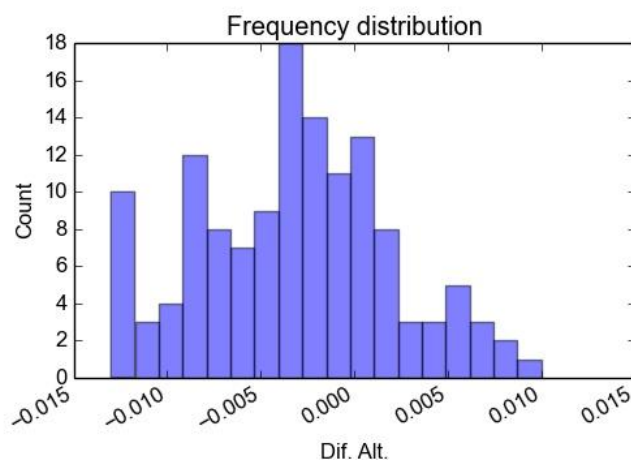


Figura 1 – Gráfico da distribuição dos desvios altimétricos



Quadro 1 – Análise estatística das diferenças encontradas entre os pontos discretos levantados no terreno e os valores obtidos através do MDT resultante da nuvem de pontos.

Média (m)	Mediana (m)	Desvio Padrão (m)	Mínimo (m)	Máximo (m)
-0.003	-0.003	0.005	-0.013	0.010

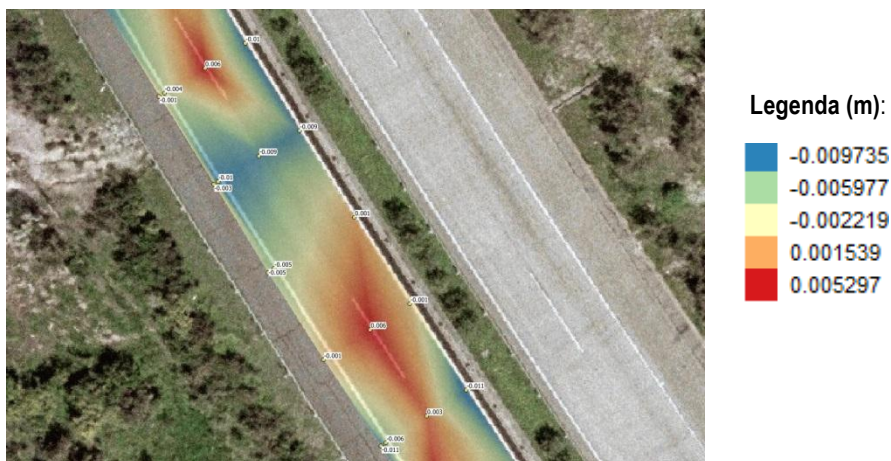


Figura 2 – Diferençastimétricas

Foram quantificados os volumes entre as duas superfícies (Quadro 2) utilizando uma grelha de 0.10m cujo resultado demonstra a variação dos resultados.

Quadro 2 – Quantificação de volumes entre as duas superfícies

Grelha (m)	Corte (m ³)	Enchimento (m ³)	Balço (m ³)
0.10	2.37	20.19	-17.82

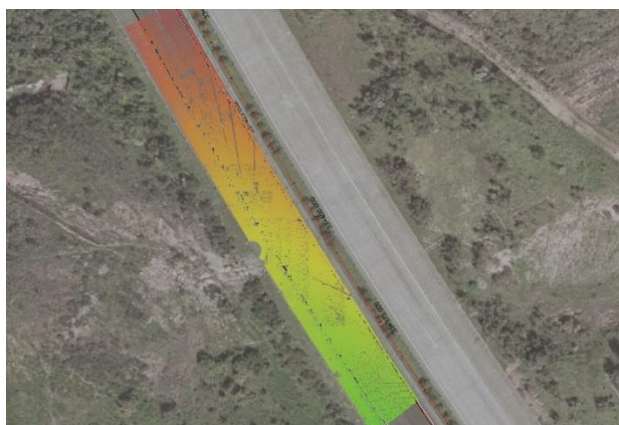


Figura 3 – Laser scanner



Figura 4 – Leica P40



4. Conclusões

No trecho em estudo os resultados alcançados demonstram claramente a consistência dos dois modelos; no entanto, em termos de produtividade no terreno, uma equipa fez em média 300m/dia no levantamento de perfis transversais enquanto o varrimento laser de um troço de 356m foi realizado em pouco mais de 2 horas.

A diferença entre os dois MDT não é muito significativa dado que o espaçamento entre os perfis transversais na maior parte dos casos não excedeu os 8.333 m e a geometria vertical da área em causa está assente num trainel. Quando a geometria se desenvolve sobre curvas verticais, os volumes quantificados através do MDT resultante do varrimento laser tendem a ser mais exatos porque o modelo traduz uma superfície contínua.

O mesmo já não sucede com o modelo resultante do levantamento dos perfis transversais porque, neste caso, o alto rigor altimétrico só é conseguido nas posições em que são levantados os perfis transversais e há um “desconhecimento” das zonas intermédias onde não há levantamento.

Pode ainda concluir-se que utilizando de uma forma criteriosa, nomeadamente ao nível da parametrização das nuvens com pontos discretos, coordenados através de métodos topográficos clássicos, o laser scanning terrestre estacionado em tripés ou plataforma fixa constitui uma ferramenta de trabalho suficientemente precisa para produzir informação geoespacial, possível de ser utilizada em diferentes fases da manutenção de uma infraestrutura, constituindo uma solução robusta quer para projetos de beneficiação como para a monitorização da regularidade superficial da mesma.

Referências Bibliográficas

Branco, F.; Pereira, P.; Santos, L. (2011). Pavimentos Rodoviários. Editora Almedina.

Kraemer, C.; Rocci, S. e Blanco, V. (1994). Trazado de Carreteras. Universidade Politécnica de Madrid.