

GEORREFERENCIAÇÃO DE ATIVOS RODOVIÁRIOS COM RECURSO A SISTEMAS LIDAR MÓVEIS TERRESTRES

Pedro Carvalho¹; Luís Gézero²; Paulo Hilário³

¹Landcoba, Consultores de Sistemas de Informação e Cartografia Digital Lda., Av. 5 de Outubro 9º, 323, 1649-011 Lisboa, Lisboa, Portugal

email: p.carvalho@cobagroup.com <http://www.landcoba.pt>

²Landcoba, Consultores de Sistemas de Informação e Cartografia Digital Lda., Av. 5 de Outubro 9º, 323, 1649-011 Lisboa, Lisboa, Portugal

email: l.gezero@cobagroup.com <http://www.landcoba.pt>

³Landcoba, Consultores de Sistemas de Informação e Cartografia Digital Lda., Av. 5 de Outubro 9º, 323, 1649-011 Lisboa, Lisboa, Portugal

email: p.hilario@cobagroup.com <http://www.landcoba.pt>

Sumário

A eficiência na gestão dos ativos representa cada vez mais um importante desafio na manutenção e administração de uma infraestrutura rodoviária. A recolha de informação relativa à forma e posição desses ativos, assim como a sua classificação e caracterização é uma tarefa fundamental para a implementação de sistemas de gestão desses ativos.

Ao longo deste trabalho é descrita a metodologia de inventário baseada num sistema Light Detection and Ranging (LiDAR) móvel terrestre, sendo dado particular destaque à eficiência deste sistema na recolha da informação, desenho e codificação dos ativos.

Palavras-chave: gestão de ativos; infraestruturas rodoviárias; LiDAR móvel terrestre; fotogrametria.

1 INTRODUÇÃO

As sociedades modernas dependem de infraestruturas rodoviárias complexas que são a base dos serviços de mobilidade terrestre. Evitar que a infraestrutura entre em rotura com as respetivas consequências para a segurança pública e/ou frequentes interrupções do serviço depende de uma gestão financeira complexa e do apoio de múltiplas áreas da engenharia.

A gestão dos ativos de uma infraestrutura rodoviária é um conjunto integrado e multidisciplinar de estratégias direcionadas à manutenção e expansão da infraestrutura pública, com vista à prestação de serviços sustentáveis. Trata-se de um conjunto de processos suportados nas regulamentações e boas práticas internacionais e nacionais, desde o investimento inicial até a manutenção de um ativo ao longo de toda a sua vida útil estimada.

Para tal, é fundamental a implementação de um sistema de gestão de informação que centralize todos os dados financeiros e de engenharia relacionados com cada ativo e que os torne acessíveis para quem deles necessite. A recolha de informação relativa à posição geográfica e respetiva caracterização dos milhares de ativos existentes ao longo da infraestrutura rodoviária é, assim, uma tarefa crucial para a implementação desses sistemas, tendo em conta que o grau de desenvolvimento de um sistema de gestão está diretamente relacionado com o detalhe e qualidade dos dados de base disponíveis.

Tendo em conta o impacto que os trabalhos de recolha de informação podem ter no normal funcionamento das infraestruturas, nomeadamente devido à interrupção das vias, os sistemas LiDAR móveis terrestres (SLMT) surgem como uma possível solução para o aumento da eficiência deste processo, já que possibilitam a recolha de informação sem qualquer interferência no normal funcionamento das infraestruturas. No entanto, a informação recolhida por estes sistemas é não seletiva, ou seja, todos os elementos ao alcance do sistema são representados

de forma indiscriminada através de nuvens de pontos tridimensionais, sendo necessário proceder à identificação, desenho e caracterização dos ativos que se pretendem representar. No caso dos ativos das infraestruturas rodoviárias, para além dos elementos físicos, tais como pavimento, sinalização vertical e horizontal, guardas de segurança, infraestruturas hidráulicas, é também importante a recolha do estado de manutenção desses ativos [1]. A utilização de estações totais e sistemas *Global Navigation Satellite System (GNSS)* podem ser utilizados para a recolha desses ativos [2], no entanto, esses processos revelam-se por um lado bastante lentos e dispendiosos [3] e por outro lado a informação recolhida tem uma baixa fiabilidade e consistência, essencialmente devido à diversidade de tarefas manuais envolvidas [4]. Em [5] é apresentada uma boa comparação entre as diferentes técnicas clássicas e a utilização de SLMT no levantamento de ativos rodoviários. A utilização de SLMT na recolha de ativos permite uma maior velocidade na recolha de dados, permitindo assim diminuir o tempo do trabalho de campo, passando a maioria das tarefas para gabinete, onde o custo é mais reduzido [6]. Uma boa descrição do grau de utilização dos SLMT no âmbito da recolha da informação rodoviária e transportes pode ser encontrada em [7], por outro lado [8] apresenta uma descrição bastante atual do estado da arte nos processos de segmentação e classificação das nuvens de pontos obtidas por SLMT, inclusive para ativos rodoviários. Uma outra vertente fundamental do processo de recolha e classificação dos ativos rodoviários prende-se com a definição da estrutura dos dados a recolher, em [9] é apresentado um exemplo de uma listagem dos ativos e respetivos atributos.

A nível nacional, em [10] é apresentado de forma sucinta as principais definições, enquadramento histórico, assim como os princípios e conceitos fundamentais associados à gestão de ativos físicos aplicada às infraestruturas. A Landcoba executou já o levantamento dos ativos da A23, utilizando um SLMT e encontra-se neste momento a levantar 11 autoestradas em Portugal num total de 1100 km.

Ao longo deste trabalho descrevem-se as diferentes fases da obtenção da informação dos ativos através de um SLMT, desde o processo de recolha da informação até à sua formatação e compatibilização com as aplicações de gestão de ativos de infraestruturas rodoviárias.

Na secção 2, são apresentados os vários métodos de recolha de informação de ativos de infraestruturas rodoviárias. Na secção 3 é descrita a metodologia de aquisição da informação através dos SLMT, o seu processamento e extração da informação, sendo as principais conclusões apresentadas na secção 4.

2 MÉTODOS DE RECOLHA DE INFORMAÇÃO DE ATIVOS RODVIÁRIOS

Atualmente uma grande variedade de tecnologias é utilizada para a recolha da informação dos ativos, desde os levantamentos diretos até aos obtidos através das mais modernas tecnologias de deteção remota, que poderão ser utilizados *per si* ou combinados.

A seleção da tecnologia/equipamento a utilizar na recolha depende fundamentalmente dos seguintes fatores: dimensão da infraestrutura rodoviária; tipo de ativos a caracterizar; fiabilidade e eficiência na recolha de informação, e capacidade de armazenamento da mesma. Por exemplo, em situações em que a área referente aos ativos a levantar é bastante grande, na ordem dos milhares de quilómetros e a necessidade de rigor é baixa, a utilização de sistemas aéreos com instalação de câmaras e *LiDAR* poderão ser considerados. Estes sistemas permitem cobrir rapidamente uma vasta área, no entanto, o número de pontos por metro quadrado dos sistema *LiDAR* aéreos (< 20), permitem, por exemplo, o levantamento de taludes, mas não permitem georreferenciar com precisão os ativos com menor dimensão, como por exemplo, a sinalização vertical. Para uma melhor precisão e detalhe é necessário a utilização de sistemas *LiDAR* móveis terrestres. A utilização de metodologias mais tradicionais nomeadamente, através de sistemas GNSS e estações totais, ou sistemas *LiDAR* terrestres estáticos, são claramente mais morosos e só se justificam em situações muito pontuais em que a área que se pretende cobrir é muito pequena. No Quadro 1 apresentam-se os métodos mais representativos do estado da arte.

Quadro 1. Métodos de recolha de dados de ativos, adaptado de [11].

Método tradicional de levantamento a pé	Utilização de estação total e equipamento <i>GNSS</i> para georreferenciação dos ativos e recolha direta dos seus atributos.
Registo de fotografias e vídeo	Condução de um veículo ao longo da estrada, produção de um registo visual por gravação automática de fotografias ou vídeos para extração de informação.
Sistemas de mapeamento integrado de <i>GNSS/SIG</i>	Utilização de um sistema de registo de dados de campo <i>GNSS/SIG</i> integrado para gravar informações de inventário e armazenar essas informações numa base de dados <i>SIG</i> simultaneamente.
Fotografia aérea e imagens de satélite	Análise de imagens de alta resolução retiradas de aeronaves ou satélites para identificar e extrair informação de inventário.
Fotogrametria / <i>Structure From Motion (SFM)</i>	Utilização de modelos 3D detalhados reconstruídos a partir de um conjunto de fotografias de estradas não estruturadas para a extração de dados de inventário.
<i>LiDAR</i> estático terrestre	Utilização da informação direta das nuvens de pontos 3D, adquirida a partir de <i>scanners</i> a laser 3D estacionários para extrair dados de inventário.
Sistemas <i>LiDAR</i> móvel terrestre	Utilização da informação adquirida através de um sistema de mapeamento móvel, instalado numa viatura, que integra equipamentos <i>LiDAR</i> e/ou sistemas de fotogrametria. Os elementos para o inventário são recolhidos da nuvem de pontos <i>LiDAR</i> e/ou das imagens ou vídeos georreferenciados.
<i>LiDAR</i> aéreo	Utilização da informação direta das nuvens de pontos 3D adquirida a partir de <i>scanners</i> a laser 3D, instalados em aeronaves ou em veículos aéreos não tripulados, para extrair dados de inventário.

3 METODOLOGIA

Em [12] é demonstrado que a tecnologia *LiDAR* móvel terrestre apresenta múltiplos benefícios para as administrações rodoviárias com responsabilidade na gestão de ativos, nomeadamente:

1. Detalhe da informação recolhida: Dada a capacidade destes sistemas de recolher milhares de pontos por metro quadrado, possibilitam a representação da realidade envolvente com muito detalhe, permitindo efetuar medições com muito rigor.
2. Segurança: Capacidade de efetuar o levantamento sem interrupção do tráfego e a velocidades compatíveis com qualquer tipo de via e restrições, em conjunto com a possibilidade de levantamento noturno, quando existe menos trânsito, aumenta a segurança dos operadores do sistema e dos restantes utilizadores da via.
3. Redução de custos: Recolha de toda a informação com uma passagem, diminuindo o tempo de trabalhos de campo (mais onerosos) e sem os custos inerentes aos trabalhos de sinalização e interrupção de via.
4. Economia de tempo: A velocidade de recolha acompanha a velocidade do veículo, entre 50 e 100 km/h dependendo do tipo de aplicação, sendo claramente o método terrestre mais rápido para a recolha de informação ao longo das infraestruturas rodoviárias.
5. Precisão: Baseado num sistema georreferenciação direto, utilizando o sistema *GNSS* e o UMI, garante precisões semelhantes aos sistemas tradicionais.

Para além dos fatores apresentados anteriormente, deverá ser considerada a vantagem do método efetuar a recolha de informação numa só operação, garantindo a consistência espacial e temporal dos objetos levantados.

Ao longo desta secção é apresentada a metodologia associada ao SLMT MX8 da Trimble, no entanto os diferentes passos aqui descritos são muito similares à maioria dos sistemas comerciais existentes no mercado. Na metodologia apresentada, é incorporada a utilização do conceito de estação virtual de referência. Este conceito

permite a dispensa de uma estação de referência *GNSS* fixa nas proximidades do levantamento, sendo criada uma estação virtual, *a posteriori*, através da interpolação de estações de referência da rede nacional.

3.1 Tecnologia LiDAR móvel terrestre

Um SLMT é constituído por um conjunto de sensores, instalados sobre uma plataforma móvel, nomeadamente: um ou vários sensores LASER, duas antenas *Global Navigation Satellite Systems (GNSS)*, uma unidade de medição de distâncias (UMD) e uma unidade de medição inercial (UMI)[13].

Pode resumir-se o funcionamento básico de um sistema *LiDAR* em duas partes:

- Cálculo da posição e orientação absoluta do sensor no espaço;
- Cálculo da posição relativa dos pontos em relação à posição do sensor.

A precisão posicional da nuvem de pontos de um sistema *LiDAR* e a qualidade dos dados por ele gerados depende diretamente da eficiência com que esse sistema consegue efetuar estas duas tarefas, bem como, da precisão das medições.

O cálculo da posição e orientação do sensor é efetuada através da UMI e do sistema *GNSS*. Dada a deriva associada aos sensores da UMI, torna-se necessário efetuar uma reinicialização dos valores, em curtos intervalos de tempo, para evitar o aumento dessas derivas. Ou seja, é necessário fornecer novos valores de posição à UMI para que esta, por integração, reinicie o processo de cálculo das variações de posição e orientação dos seus eixos até ao fornecimento de novas coordenadas pelo sistema *GNSS*.

Para além do processo de cálculo da trajetória, é necessário determinar a posição dos pontos em relação à posição do sensor. Este cálculo é efetuado utilizando as distâncias e os ângulos obtidos pela reflexão do pulso LASER nos objetos, registados ao longo da trajetória. O cálculo das coordenadas (X,Y,Z) de cada um dos pontos da nuvem final é o resultado da integração da posição do sensor ao longo da trajetória com as distâncias e ângulos registados pelo sensor, podendo existir variações nos algoritmos e nos sensores auxiliares associados a cada SLMT. Os dados posicionais são sincronizados com os dados recolhidos pelo subsistema LASER, através da época *GPS* comum a ambos os dados. Na Figura 1 é apresentada uma imagem do fluxograma da informação através dos diferentes componentes.



Fig.1. Fluxograma da informação através dos diferentes subsistemas.

O sistema *Trimble MX8* da Landcoba é constituído por três subsistemas principais cujas principais características são apresentadas nos quadros 2, 3 e 4.

Quadro 2. Características do subsistema laser [13]

Subsistema Laser	<i>RIEGL VQ-250</i>
Exatidão*	10 mm
Precisão**	5 mm
Taxa máxima efetiva de medição	300 000 pontos/segundo
Velocidade de varrimento	Até 100 linhas/segundo
Intensidade de sinal do retorno	Alta resolução – intensidade 16 bit
Alcance	Até 500m @ 100KHz (dados naturais $p \geq 80\%$)

* Exatidão é o grau de conformidade de uma quantidade medida com o seu valor real. 1 sigma na faixa de 50 m sob condições de teste.

** Precisão ou repetibilidade é o grau em que outras medições mostram o mesmo resultado. 1 sigma na faixa de 50 m sob condições de teste.

Quadro 3. Características do subsistema de posicionamento [13]

Subsistema de posicionamento	<i>APPLANIX POS LV 520</i>
Posição X, Y – com <i>GNSS</i>	0,020 m
Posição Z – com <i>GNSS</i>	0,050 m
<i>Pitch</i> e <i>Roll</i> – com <i>GNSS</i>	0,005°
<i>True Heading</i> – com <i>GNSS</i>	0,015°
Posição X,Y – com ausência <i>GNSS</i> (1 km ou 1 minuto)	0,10 m
Posição Z – com ausência <i>GNSS</i> (1 km ou 1 minuto)	0,07 m
<i>Pitch</i> e <i>Roll</i> – com ausência <i>GNSS</i> (1 km ou 1 minuto)	0,005°
<i>True Heading</i> – com ausência <i>GNSS</i> (1 km ou 1 minuto)	0,015°

Quadro 4. Características do subsistema vídeo [13]

Subsistema vídeo	<i>POINT GREY Grasshopper 50S5C CCD</i>
Câmaras frontais	3 x 5MP
Câmaras traseiras	1 x 5MP

3.2 Aquisição da informação no campo

A aquisição dos dados em modo cinemático é passível de ser realizada com velocidades acima dos 50 km/h, de acordo com as normas de segurança das concessões rodoviárias alvo dos levantamentos. Através deste equipamento, são adquiridas nuvens de pontos tridimensionais, por varrimento laser. São ainda adquiridas ao longo de todo o seu percurso, vídeos cujo espaçamento entre fotogramas pode ser definido, *a priori*, por intervalo de tempo ou distância.

As posições da viatura, são registadas a cada segundo, através dos dois recetores *GNSS*, permitindo definir, a posição do sistema e o vetor da direção da deslocação. A atitude da plataforma é registada pela UMI e o odómetro, que está instalado na roda traseira da viatura, mede a distância percorrida pela viatura. A georreferenciação, num referencial absoluto, das posições da viatura ao longo da trajetória, resulta da integração da informação registada por cada um destes sensores.

Após o processo de recolha de campo são gerados os seguintes tipos de dados:

- Vídeos das quatro câmaras do sistema *LiDAR*;
- Ângulos e distâncias registados pelo sensor laser;
- Dados posicionais dos dois recetores *GNSS*;
- Dados registados pela UMI e pela UMD.

De forma a posicionar o sistema num referencial absoluto é necessário efetuar a correção diferencial dos dados *GNSS* utilizando bases de referência externas ao sistema. Na prática tal implica a colocação de uma terceira antena *GNSS* fixa nas imediações do trajeto a efetuar pelo veículo que transporta o sistema. Este é, normalmente, um processo bastante limitativo da eficiência na recolha dos dados, já que obriga à mudança consecutiva sistemática dessa base. Para contornar esta limitação foi testado um método designado ERV (Estações de Referência Virtuais). Neste processo, as bases/estações de referência virtuais são calculadas com base em redes de estações fixas, eliminando do processo a necessidade de estabelecimento de estações locais. No caso de Portugal Continental existem duas redes: Rede Nacional de Estações Permanentes *GNSS* (ReNEP) e a rede Servir.

A posição da estação de referência virtual é calculada por interpolação, utilizando uma aproximação linear pesada e um ajustamento por mínimos quadrados, com base na parte residual dos erros das estações de referência [14]. Do processamento dos dados das bases de referência virtuais e dos sensores de posição do sistema, resulta uma sequência de posições corrigidas, designada *Smoothed Best Estimated Trajectory (SBET)* [15].

Como resultado final, obtém-se um conjunto de ficheiros com nuvens de pontos (Figura 2) e de vídeos georreferenciados e sintonizados, permitindo a manipulação conjunta e aquisição de informação nos dois ambientes.



Fig.2. Nuvem de pontos *LiDAR*

3.3 Restituição da informação georreferenciada

A restituição da informação georreferenciada pode ser efetuada nos dois ambientes distintos, consoante o tipo de ativos:

- Restituição em ambiente *Computer Aided Design (CAD)*, sendo os elementos identificados sobre a nuvem de pontos tridimensionais;
- Ambiente imagem, onde os elementos são adquiridos com base nos fotogramas georreferenciados do vídeo recolhido, através de técnicas de fotogrametria terrestre.

A determinação do ambiente a utilizar para a identificação e georreferenciação de cada ativo deve ter em conta a eficiência de execução do processo, a exatidão posicional pretendida e o tipo de informação a recolher do ativo.

3.3.1 Ambiente CAD

Os *softwares CAD* mais utilizados no mercado possibilitam, nas suas versões mais recentes, a visualização das nuvens de pontos *LiDAR*. Neste ambiente os ativos são restituídos, utilizando as ferramentas disponibilizadas pelo *software*, sobre as nuvens tridimensionais georreferenciadas. A aquisição neste ambiente (Figura 3) obriga a um esforço de interpretação dos objetos representados nas nuvens tridimensionais georreferenciadas, permitindo, no entanto, a aquisição de geometrias tridimensionais complexas.

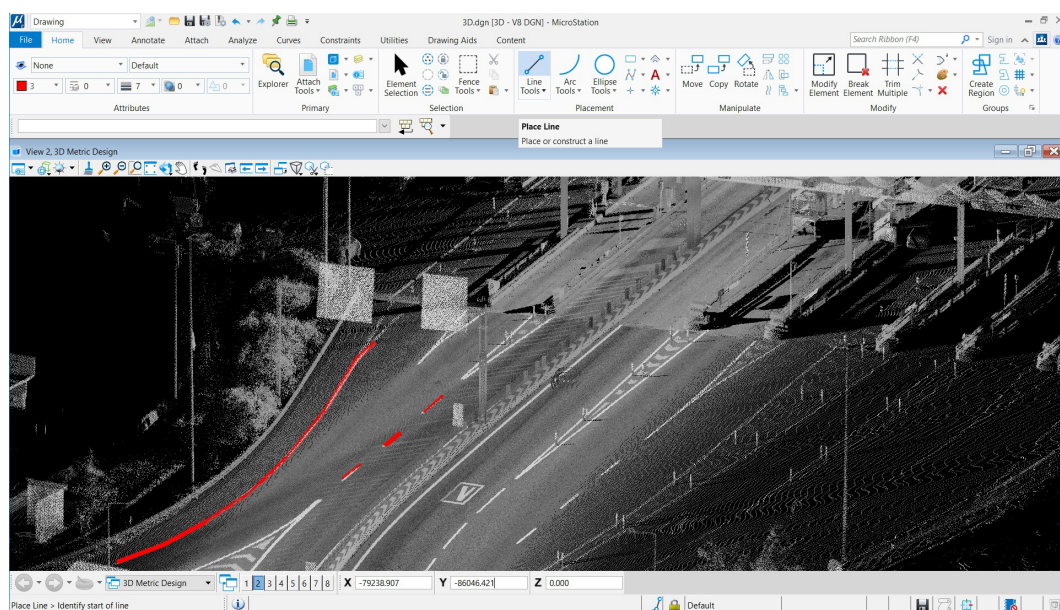


Fig.3. Edição em ambiente CAD (*Bentley MicroStation*)

3.3.2 Ambiente vídeo

O recurso ao vídeo para identificação de objetos e georreferenciação direta dos mesmos tem a vantagem de não oferecer dúvidas ao operador sobre o objeto a identificar, uma vez que o objeto na imagem é observado tal como seria no próprio local (Figura 4). No entanto este ambiente não permite a restituição tridimensional de geometrias complexas.

A aquisição dos elementos no vídeo recorre a técnicas fotogramétricas [16], em que as coordenadas do elemento são calculadas pela medição de pontos análogos em duas imagens consecutivas ou, não sendo consecutivas, contenham o mesmo objeto.

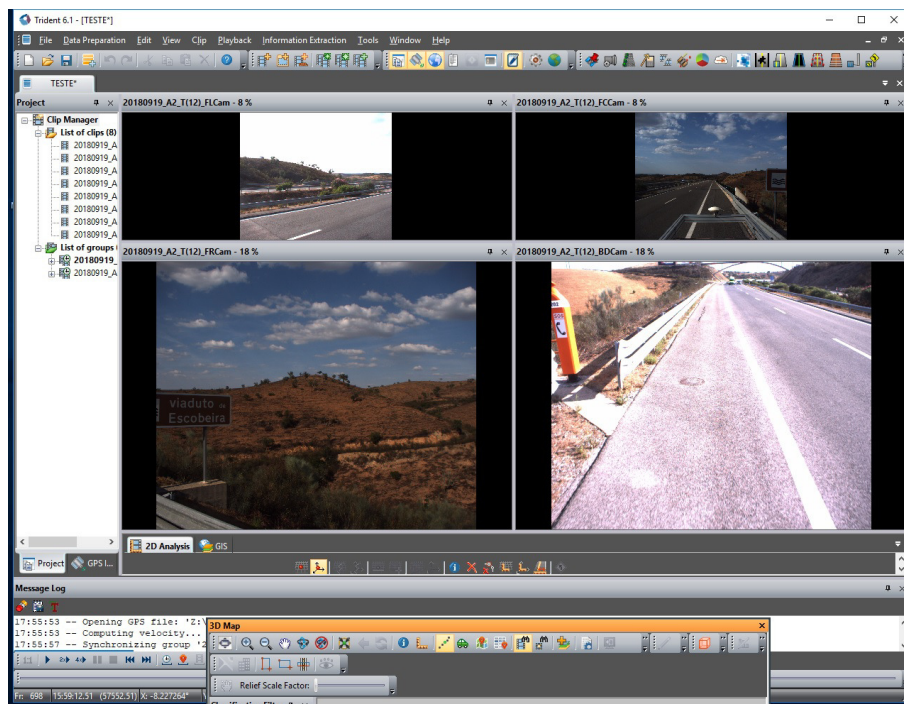


Fig.4. Ambiente de aquisição vídeo - *Trident 3D Analyst/Gis*

3.4 Caracterização da informação recolhida

De forma a permitir a integração da informação alfanumérica para caracterização de cada um dos ativos adquiridos, quer em ambiente *CAD* quer em ambiente vídeo, é utilizado um sistema de informação geográfica (SIG). Um SIG é um sistema concebido para capturar, armazenar, manipular, analisar, gerir e apresentar todos os tipos de dados geográficos, ou com uma componente geoespacial.

A formatação da informação neste ambiente garante a integração da informação alfanumérica com a componente espacial de cada um dos ativos (Figura 5), permitindo a sua utilização e exploração pelos diferentes sistemas de gestão de ativos.

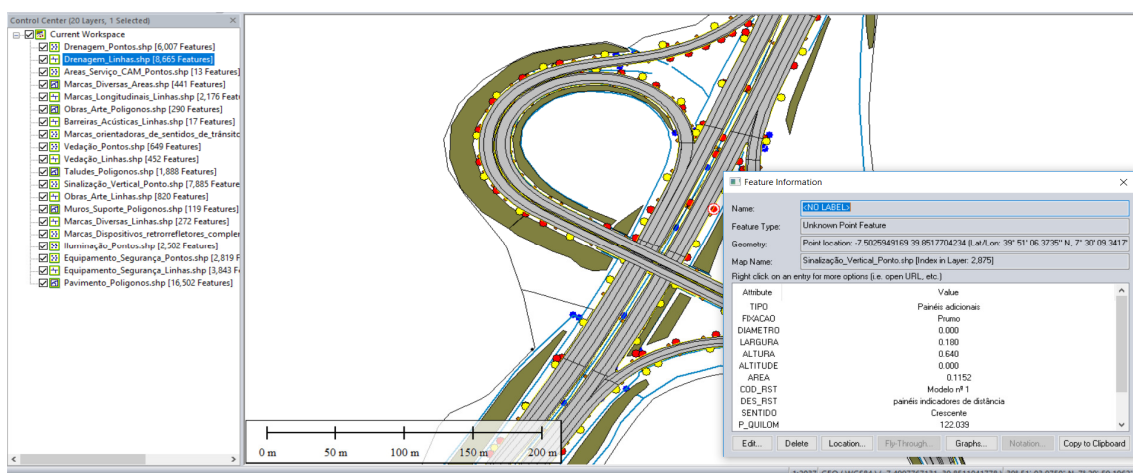


Fig.5. Ativos em ambiente SIG

3.5 Resultados

A aplicação da metodologia descrita para uma concessão rodoviária com cerca de 400 km de extensão permitiu, num prazo de execução de 4 meses desde aquisição da informação em campo até à entrega dos produtos finais, a georreferenciação e classificação dos ativos descritos no Quadro 5.

Quadro 5. Ativos adquiridos

Ativo	Geometria	Nº elementos	Comprimento (m)*	Alguns tipos de elementos
Drenagem	Linha	8 665	710 596	Caleiras, valas, valetas, passagens hidráulicas
Drenagem	Ponto	6 007	-	Caixas de visita e receção, passagens hidráulicas, sumidouros
Barreiras acústicas	Linha	17	3 166	Acrílicas, betão, metálicas
Equipamentos de segurança	Linha	3 843	723 186	Barreiras de segurança, guarda corpos, proteção metálica de motociclistas
Iluminação	Ponto	2 502	-	Armários, colunas
Dispositivos complementares	Ponto	23 268	-	Dispositivos retrorrefletores complementares
Marcas rodoviárias	Polígono	497	-	Marcas diversas e guias
Marcas rodoviárias	Linha	219	1 200	Marcas transversais
Marcas longitudinais	Linha	2 266	1 298 127	Marcas longitudinais
Marcas orientadoras do trânsito	Ponto	1 327	-	Inscrições no pavimento, marcas orientadoras do sentido, marcas transversais
Muros de suporte	Polígono	119	-	Betão, betão projetado, gabiões, máscara drenante, rede de proteção
Obras de arte	Polígono	290	-	Passagens agrícolas, superiores e inferiores, pontes, túneis, viadutos
Pavimento	Polígono	16 502	-	Bermas da direita e esquerda, nós, vias direita, esquerda e de lentos
Sinalização vertical	Ponto	7 999	-	Sinalização vertical
Taludes	Polígono	1 888	-	Aterro, escavação, interior dos nós
Vedação	Linha	455	383 230	Vedação

Este processo de levantamento de ativos permitiu à concessionária um retrato integral, atual e rigoroso de todos os ativos da infraestrutura rodoviária, em contraponto com a informação anteriormente utilizada pela concessionária, de diferentes fontes, nomeadamente projetos de execução e telas finais que para além de desatualizados se encontravam em formatos incompatíveis com a integração num sistema de gestão de infraestruturas.

4 CONCLUSÕES

Através da utilização de um SLMT foi possível efetuar todo o levantamento da informação referente aos ativos ao longo de uma infraestrutura rodoviária concessionada, sem qualquer interrupção do normal funcionamento da mesma. Os resultados posicionais obtidos através da utilização do método revelaram-se compatíveis com a representação dos elementos a uma escala 1:1000.

Os produtos resultantes do sistema (nuvens de pontos cotados e vídeos) permitiram a recolha da informação geométrica tridimensional dos elementos, tais como alturas e inclinações de taludes e gabaritos das obras de arte, assim como as inscrições gráficas nos sinais de trânsito ou informações inscritas no pavimento.

De entre as muitas vantagens da utilização do SLMT para a recolha dos ativos, salientam-se a segurança dos operadores e restantes utilizadores da infraestrutura, já que não foi necessário proceder a nenhuma interrupção da via. O elevado nível de detalhe da informação conjugado com a complementaridade entre as nuvens de pontos e as imagens permitiu a identificação sistemática dos mais diversos atributos dos ativos, desde o tipo e largura de linha da sinalização vertical até aos pequenos refletores ao longo da via.

Como trabalho futuro pretende-se o desenvolvimento de métodos de extração de informação automatizados para melhorar ainda mais o custo de aquisição e processamento da informação relativa aos ativos rodoviários.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos colaboradores da Landcoba pela disponibilidade e contributo para a elaboração deste trabalho.

6 REFERÊNCIAS

1. Olsen M.J., NCHRP 15-44, *Guidelines for the Use of Mobile LIDAR in Transportation Applications*. National Cooperative Highway Research Program, Washington, DC, USA: 2013. p. 243.nt.
2. Lange A.F., Gilbert C., *Using GPS for GIS data capture*. In: Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W., editors. *Geographical Information Systems*, 2nd ed. John Wiley and Sons, New York, NY, USA: 1998, pp. 467-479.
3. Laflamme C., Kingston T., McCuaig R., *Automated mobile mapping for asset managers*, Proceedings of the 23th International FIG Congress, Munich, Germany, 8-13 October 2006.
4. He G., Orvets G., *Capturing road network data using mobile mapping technology*, Proc. Int. Arch. Photogramm, Remote Sens. 2000;33: 272-277.
5. Findley D.J., Cunningham C.M., Hummer J.E., *Comparison of mobile and manual data collection for roadway components*, Transp. Res. C Emerg. Technol. 2011, 19:521-540. doi: 10.1016/j.trc.2010.08.002.
6. Sairam, N., Nagarajan, S., Ornitz, S. (2016), *Development of Mobile Mapping System for 3D Road Asset Inventory*, Sensors (Basel, Switzerland), 16(3), 367. doi:10.3390/s16030367.
7. Williams K., Olsen M., Roe G., Glennie C., *Synthesis of Transportation Applications of Mobile LIDAR*, Remote Sens. 2013; 5:4652-4692. doi: 10.3390/rs5094652.
8. Che E., Jung J., Olsen, M.J., *Object Recognition, Segmentation, and Classification of Mobile Laser Scanning Point Clouds: A State of the Art Review*, Sensors 2019, 19, 810.
9. OpenLSEF, *OpenLSEF Topography & Assets*, Available online: <https://beta.openlsef.org/topographyassets/> (acedido em 04 de Abril de 2019).
10. Coutinho, R., 2017, *Gestão de ativos físicos aplicada às infraestruturas*, Revista portuguesa de engenharia de estruturas, http://rpee.lnec.pt/Ficheiros/rpee_serieIII_n04/rpee_sIII_n04_pg113_118.pdf (acedido em 04 de Abril de 2019).
11. Gong J., Zhou H., Gordon C., Jalayer M., *Mobile Terrestrial Laser Scanning for Highway Inventory Data Collection*, Congress on Computing in Civil Engineering, Proceedings, Edwardsville 2012.
12. Yen K. S., B. Ravani, and T.A. Lasky, *LIDAR for Data Efficiency*, AHMCT Research Center, Washington, 2011.
13. California Department of Transportation, *Terrestrial Laser Scanning Specifications*, Caltrans Surveys Manual, Sacramento, 2018.
14. Luttenberger C., Amor M., *Introducción al concepto de redes VRS (Virtual Reference Stations)*, Madrid, 2004.
15. Applanix Corporation, *POSPac MMS GNSS-Interial Tools User Guide*, Richmond Hill, 2010.
16. Trimble, *T3D Analyst 4.5 Guide*, 2009.