

Levantamento de condições existentes com lidar em dispositivos móveis e análise de pavimentos usando BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.39>

**Pedro Luis Soethe Cursino¹,
Fernanda Almeida Machado²**

¹ Autodesk, São Paulo, 0000-0002-0206-5647

² Autodesk, São Paulo, 0000-0001-5571-1254

Resumo

A gestão do diagnóstico das patologias e manutenção dos pavimentos é um desafio latente nas diversas entidades da esfera pública responsáveis pela infraestrutura viária. O volume de amostras rejeitadas em trechos de recapeamento nos grandes centros remete à ineficiência do gerenciamento de pavimentos urbanos e à necessidade de incorporação de tecnologias que subsidiem: (i) a construção de inventários da malha viária; (ii) a emissão de relatórios que orientem tomadas de decisão e planos de manutenção baseados em dados; e (iii) a eficiência dos projetos de manutenção. Nesse contexto, as tecnologias scan-to-BIM e o uso de dispositivos móveis podem simplificar o levantamento das condições existentes e trazer precisão às estratégias de manutenção dos pavimentos. O objetivo deste artigo é avaliar o emprego do LiDAR embarcado em dispositivos móveis como recurso acessível no levantamento de condições do pavimento e o potencial de integração destes dados ao projeto de manutenção mediado por processos de Modelagem da Informação da Construção (BIM). Adotou-se como procedimentos metodológicos a pesquisa exploratória, seguida de experimento em um trecho de via urbana da cidade de São Paulo. As contribuições do trabalho identificaram as variáveis de análise do pavimento a partir do uso do LiDAR, qualificaram a precisão de suas características físicas e potencial de desempenho de dispositivos de levantamento de menor custo, bem como a exploração de usos do modelo BIM no experimento supracitado. Os usos compreenderam a geração de um plano customizado e a análise e automação de soluções de manutenção – como fresagem, recapeamento e correções do pavimento.

1. Introdução

Desde as vias romanas até as mais modernas estradas, a manutenção estrutural de pavimentos é um dos maiores balizadores de durabilidade e indicador de benefício de longo prazo na infraestrutura viária [1]. Segundo Mascarenhas Neto [2], entre as obrigações inerentes à sua conservação estão “vigiar qualquer pequeno estrago, que ou pelas chuvas, ou pelo trilho dos transportes, principia a formar-se no corpo da estrada, nos caixilhos, nos fossos e nos aquedutos”. A taxa de deterioração dos indicadores de desempenho do pavimento depende de vários fatores, incluindo cargas de tráfego, condições climáticas atreladas a mudanças de umidade e temperatura, métodos construtivos, materiais, entre outros. Esses fatores desdobram-se em defeitos típicos, como trincas, exsudação, deformações, desagregações e rupturas de revestimento [3].

As falhas de conservação e a falta de manutenção da malha rodoviária, incluindo o pavimento asfáltico, influenciam em prejuízos diretos que abarcam: o acréscimo no consumo de combustíveis, em até 58%, e no custo operacional de veículos, em até 40%; a elevação no índice de acidentes, em até 50%; o acréscimo no tempo de viagem, em até 100%; entre outros indicadores de impacto destacados no Manual de Conservação Rodoviária IPR-710 [3] do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Esses impactos geram uma necessidade latente por planos de manutenção não somente nas vias rodoviárias que conectam cidades, mas também dentro dos limites urbanos. No Brasil, o volume de recursos alocados no Plano Asfalto Novo da Prefeitura de São Paulo (SP), por exemplo, atendia à previsão de R\$550 milhões de reais em obras de recuperação de vias, destinados a 300km de recapeamento. Entretanto, segundo o Tribunal de Contas Municipal, cerca de 57% de amostras dos serviços realizados foram rejeitadas, devido à espessura aplicada, erros de cálculo de mão de obra, materiais de pavimentação e de transporte – entre outros itens relevantes apontados pelo órgão regulador [4].

Por conseguinte, observa-se a necessidade de mecanismos que simplifiquem e suportem a análise de pavimentos e a resolução de patologias identificadas. O emprego de tecnologias digitais associadas ao levantamento e análise de condições existentes pode subsidiar tomadas de decisão devido ao potencial de gerenciamento de dados heterogêneos de diferentes fontes [5]. No âmbito da infraestrutura rodoviária e sua gestão, as tecnologias inerentes à Modelagem da Informação da Construção (BIM) têm sido empregadas em atividades que incluem escavação, nivelamento, fregagem e pavimentação; coleta e atualização de documentação as-built; geração de dados para a criação de inventários digitais [6]; e automação de processos para seleção de pavimentos atrelados à vida útil desejada [7]. Exemplos de usos do modelo associados à manutenção de pavimentos estão presentes em processos scan-to-BIM voltados para a análise de irregularidades do pavimento e a otimização de custos de reabilitação [8]. Apesar do crescente interesse pelo assunto, Costin et al. [9] e Oreto et al. [10] apontam que o orçamento disponível costuma ser limitado e torna-se

necessária a elaboração de procedimentos que auxiliem na priorização de atividades de Operação & Manutenção (O&M).

2. Procedimentos metodológicos

Nesse contexto, o objetivo deste artigo é avaliar o emprego de *Light Detection and Ranging* (LiDAR) embarcado em dispositivos móveis como recurso acessível no levantamento das condições de superfície de pavimentos; assim como o potencial de integração destes dados ao projeto de manutenção mediado por BIM. Adotou-se como procedimentos metodológicos a pesquisa exploratória, seguida de experimento [11] em uma via urbana da cidade de São Paulo/SP passível de recuperação.

O objeto de estudo é um trecho da rua Berlioz (Figura 1), caracterizado por ser uma via típica de municípios brasileiros, que apresenta defeitos visíveis de superfície para levantamento.

Adotou-se o processo scan-to-BIM para subsidiar o método de inspeção visual na construção de um diagnóstico de avaliação da condição do pavimento e no auxílio às propostas de resolução deste. Conforme o DNIT, é necessário que os dados de levantamento sejam catalogados de forma clara e precisa, e compreendam o maior número de informações possível. Para classificação dos defeitos, utilizou-se a Norma DNIT 005/2003 – TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos: terminologia [12].

O experimento realizado foi segmentado em duas fases: (i) o levantamento das condições existentes de um trecho da rua Berlioz por dispositivo móvel; e (ii) a análise da interface com BIM para catalogação de defeitos de superfície e elaboração de soluções. Considerando o volume de recursos dispendidos em planos de recuperação de vias, adotou-se um dispositivo móvel celular, iPhone 12 Pro, com sensor embarcado LiDAR. Este dispositivo custa, em média, R\$8.199,00 [13]. Tradicionalmente, o procedimento é realizado com Estação Total, e operado por, no mínimo, duas pessoas – trabalho que demanda um custo aproximado de até R\$13.600,00 para um trecho de até 1km de via com largura média de 10m [14].

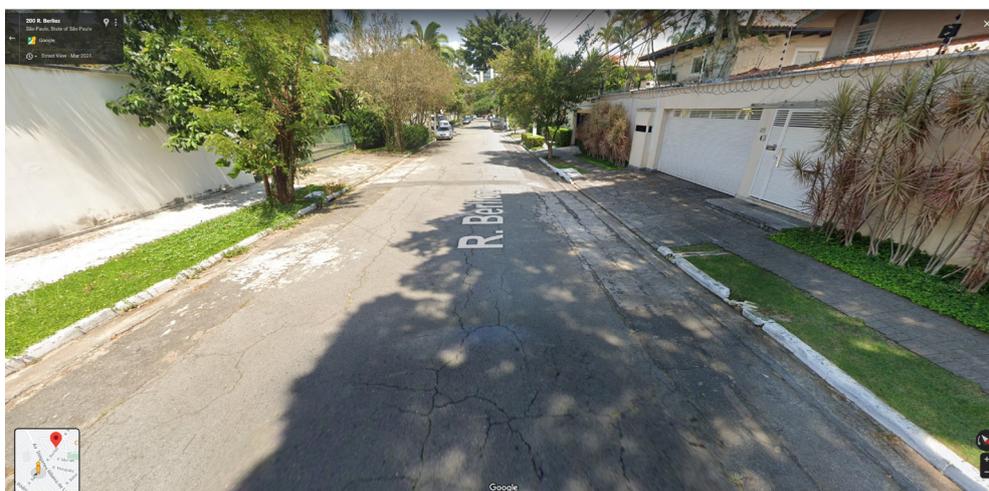


Figura 1
Trecho da Rua Berlioz,
São Paulo/SP. Google
Maps.

3. Resultados e Discussão

O fluxo de trabalho adotado e apresentado na Figura 2 consistiu no processo scan-to-BIM do pavimento, compreendendo o levantamento com dispositivo móvel, o processamento de dados e a geração da nuvem de pontos para estruturar-se o inventário digital da via para avaliação. O modelo de nuvem de pontos pode ser integrado a soluções CAD/BIM para agregação de outras fontes de dados e referências – como imageamento aéreo e dados GIS – e aprofundamento de análises visuais de defeitos de superfície. Características como parametrização e semântica permitem a simulação de diversas propostas, a partir dos dados de levantamento, e comparações qualitativas e quantitativas para consolidação do projeto de manutenção mais adequado. Os tópicos a seguir 3.1 – Levantamento de condições existentes e 3.2 – Proposição e análise de solução em CAD/BIM detalham os procedimentos empregados e seus benefícios.

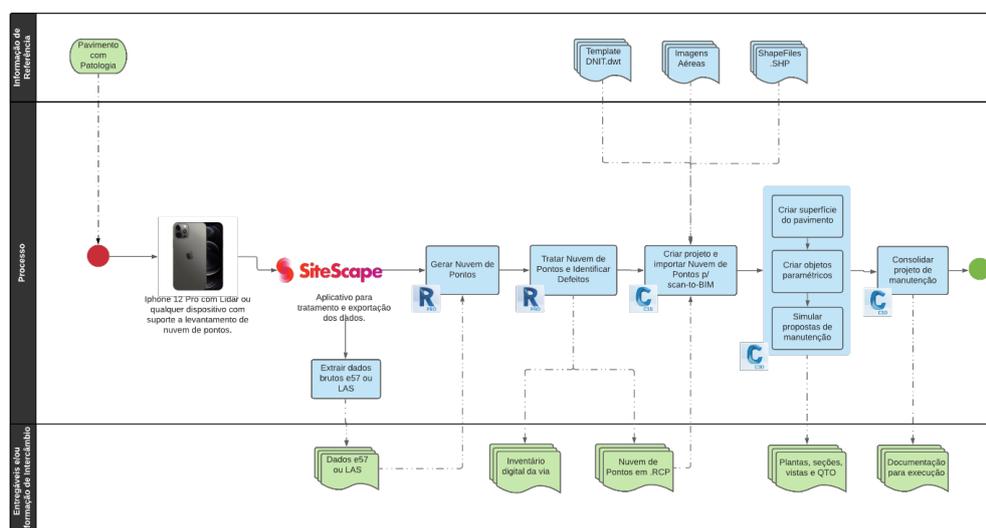


Figura 2
Fluxo de trabalho adotado.

3.1. Levantamento das condições existentes

Na fase de levantamento de condições existentes, foi realizado o escaneamento da rua Berlioz por meio do dispositivo iPhone 12 Pro, operado por uma pessoa – procedimento com duração de 10 minutos, que contemplou 81 metros de comprimento de rua, com largura média de 11m. Os dados foram adquiridos fazendo-se uso do aplicativo SiteScape, e exportados, em .LAS, para processamento, tratamento e catalogação do trecho no Autodesk ReCap Pro (Figura 3).

A nuvem de pontos gerada para avaliação possui 1.128.523 pontos e distância média de 0.0044m entre eles, observando-se, assim, o nível de precisão milimétrica do levantamento. A Figura 4, no caso, evidencia o detalhamento preciso de uma boca de lobo, seu registo in loco e suas respectivas dimensões. Esta precisão ratifica estudos

comparativos de uso da tecnologia LiDAR em relação ao uso de Estação Total, que apontam diferença de apenas 0,0003% entre os resultados de levantamento [15].

A manipulação da nuvem de pontos para auxílio à inspeção visual facilitou a identificação, classificação e contagem de ocorrências no trecho – a exemplo de fendas, re-mendos, desgaste e exsudação – aproveitando-se de recursos como mark-ups e cota-gem e reduzindo-se a necessidade de novas visitas a campo. Conforme o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos [3], essas ocorrências embasaram classificar a condição do pavimento de regular a ruim e apontaram para a necessidade de manutenção deste. Assim, as tecnologias empregadas na primeira fase do experimento suportaram a criação do inventário digital da Rua Berlioz (Quadro 1), compreendendo as condições existentes do pavimento, registros e descrições de problemas, segundo terminologia de [12]. Este passo é fundamental para auxiliar no planejamento de avaliação de defeitos, tendo em vista a geração de índices como o Índice de Gravidade Global (IGG), conforme a Norma DNIT 006/2003 – PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos - Procedimento [16].

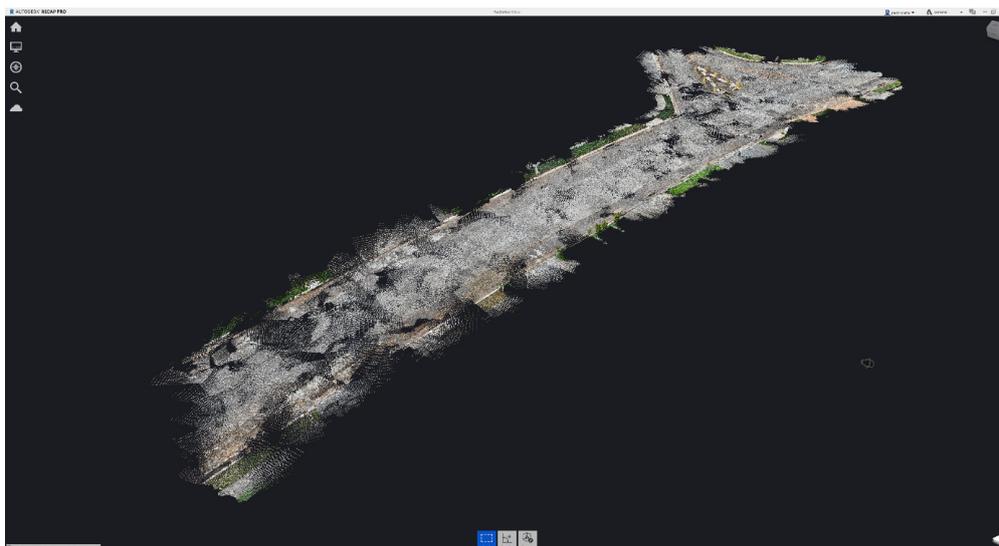


Figura 3

Nuvem de pontos do trecho da Rua Berlioz no ReCap Pro.

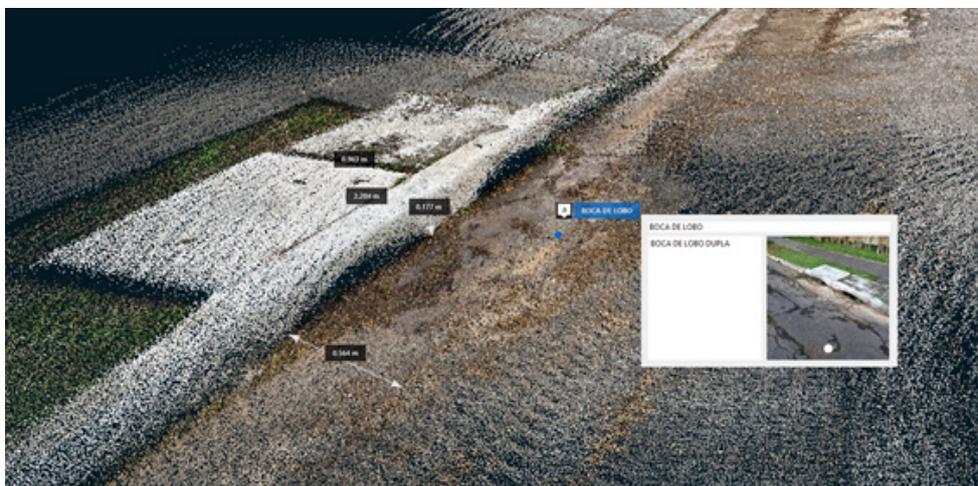
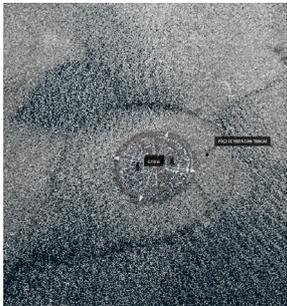


Figura 4

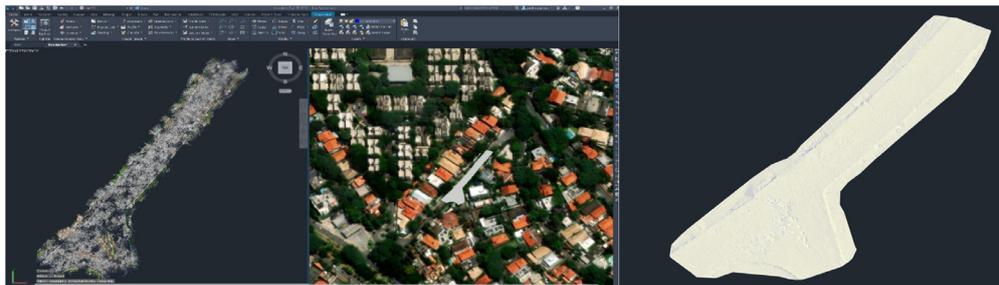
Detalhe da Boca de Lobo na nuvem de pontos.

A interface do modelo de nuvem de pontos gerado com soluções CAD/BIM permitiu, na sequência, a ampliação das possibilidades de avaliação do pavimento. Mediante integração e geolocalização do modelo no Autodesk Civil 3D, além da agregação de dados de imageamento do trecho e entorno, foi possível reproduzir feições como guias, sarjetas, bocas de lobo, poços de visita, e acessos a lotes. Ademais, por meio do método de interpolação de Kriging, gerou-se a superfície do pavimento a partir da nuvem de pontos – notando-se alterações verticais mínimas, devido à presença de arbustos e tachões de concreto (Figura 5). Tornou-se possível visualizar as curvas de nível e elaborar, de forma automatizada e paramétrica, o perfil longitudinal da rua Berlioz e suas seções transversais. Em decorrência da modelagem, simplificou-se a consulta e a extração de quantidades relativas ao pavimento, guias e sarjeta; atividades que proporcionam análises de caimentos transversais e longitudinais e geração de notas de serviço para execução de soluções de recuperação do pavimento (Figura 6).

Descrição do Problema	Registo Geral do Problema no Local	Detalhe do Problema na Nuvem de Pontos
Remendo Profundo. Codificação RP.		
Trincas Interligadas tipo "Jacaré" sem erosão acentuada nas bordas da trinca. Codificação J, Classe das Fendas FC-2.		
Trincas Interligadas tipo "Bloco" sem erosão acentuada nas bordas da trinca. Codificação TB, Classe das Fendas FC-2. Em volta de Poço de Visita.		

Quadro 1
Condições existentes do pavimento.

Figura 5
Agregação de dados e superfície do pavimento em solução CAD/BIM.



Os registros de problemas referenciados no Quadro 1 foram indexados no ambiente de projeto por meio de uma rotina de programação visual elaborada no Dynamo, associando-se as coordenadas das fotos levantadas no local com o mesmo dispositivo utilizado no escaneamento a laser do pavimento (Figura 7). A indexação beneficiou o estudo de soluções de recuperação.

Figura 6
Elementos parametrizados para geração de vistas, quantidades e notas de serviço.

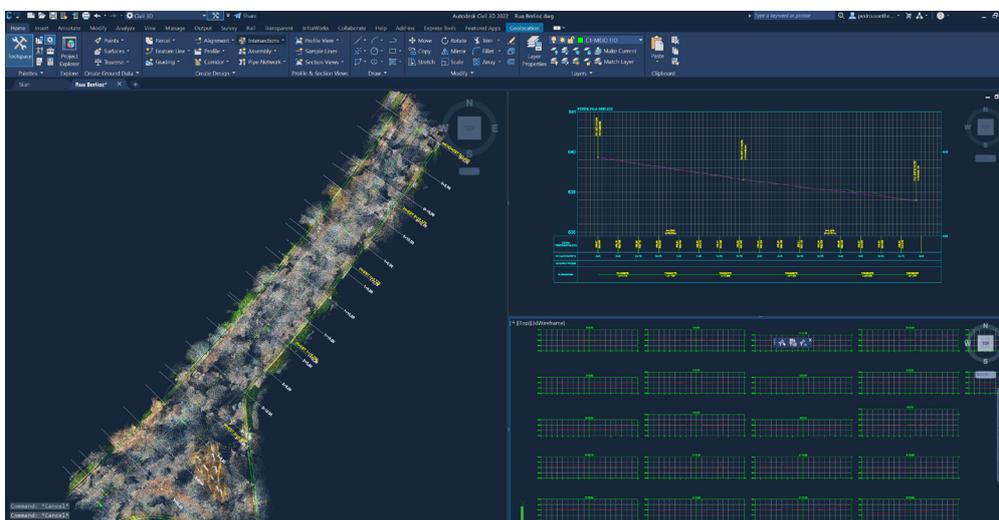
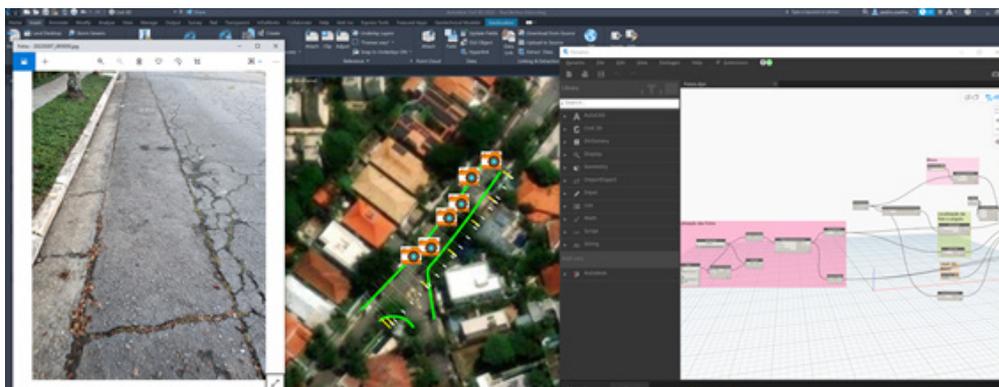


Figura 7
Fotos com dados de geolocalização indexadas ao modelo.



3.2. Proposição e análise de soluções em CAD/BIM

A segunda fase do experimento abarcou os insumos do processo scan-to-BIM para materializar proposições e trazer subsídios aos projetos de recuperação do pavimento. Conforme análise visual prévia, e a classificação do pavimento objeto deste estudo de regular a ruim, o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos recomenda o processo de fresagem e recapeamento para sua manutenção. Diante dessas diretrizes, adotou-se como proposta preliminar de solução a fresagem de camada mínima 5cm e o recapeamento de 6cm – com correção geométrica transversal de 2%. Esta correção mitiga a existência de discrepâncias transversais e auxilia em casos os quais ocorrências de baixa declividade transversal prejudicam o escoamento transversal de águas pluviais e o conforto de condução dos motoristas de veículos.

Ainda, a proposição em projeto contemplou a correção longitudinal, tendo em vista evitar problemas associados a pequenas poças e deformações que surgiram na via ao longo do tempo. No Autodesk Civil 3D, a análise destas proposições foi realizada por meio da criação de um corredor tridimensional para reabilitação e correção do alinhamento transversal e longitudinal do pavimento. Manteve-se a largura existente da via, utilizando-se como referência a sarjeta desenvolvida a partir do modelo de nuvem de pontos. Observa-se o benefício deste procedimento no uso de objetos paramétricos que possibilitam o ensaio de diversas configurações e especificações para manutenção do pavimento. Conforme destacado na Figura 8, pode-se simular, por exemplo, propostas de recapeamento; fresagem com recapeamento; recapeamento e nivelamento; fresagem, recapeamento e nivelamento; além das variações decorrentes das correções transversais ou longitudinais. Além de simulações da faixa do pavimento, ampliam-se as possibilidades de análise e manutenção das vias ao adicionar-se elementos como guias/sarjeta e calçada e seus dados construtivos correspondentes (Figura 9).

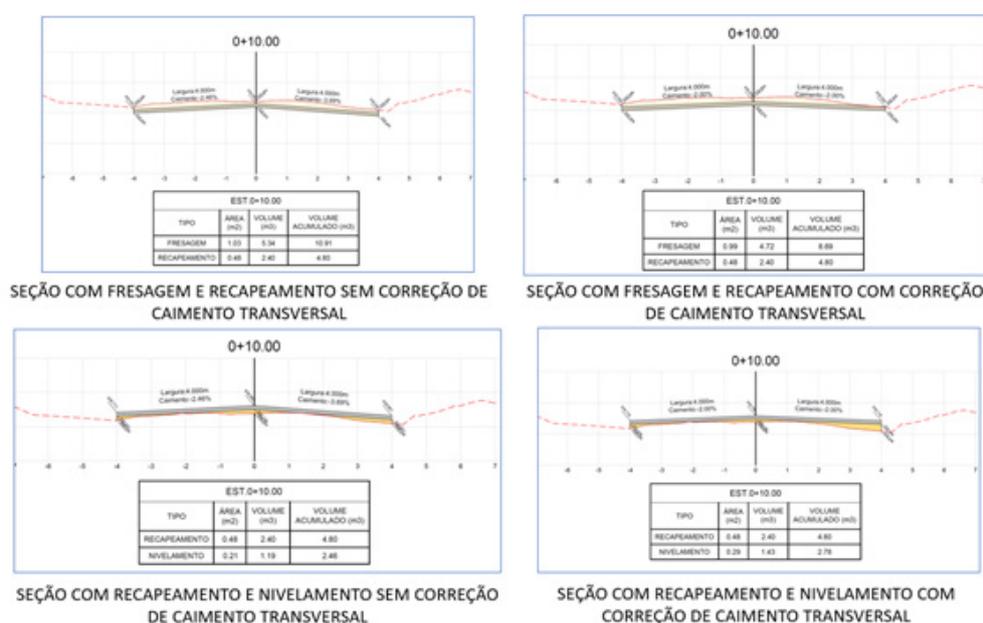


Figura 8
Simulações de aplicação de fresagem e recapeamento.

A geração de múltiplas opções de soluções de recuperação do pavimento orienta as tomadas de decisão e alimenta a extração de dados como tabelas de quantidades, documentação e notas de serviço (Figura 10, Figura 11). Nota-se a importância do levantamento preciso de condições existentes como ponto de partida para enriquecer a inspeção visual, estruturar a criação de inventário digital, facilitar a análise de superfície do pavimento e propostas de manutenção mediada por recursos CAD/BIM. Este levantamento provou-se acessível por meio do uso de dispositivos móveis com LiDAR, a exemplo do iPhone 12 Pro, e reduziu a necessidade de visitas no local. Por conseguinte, a introdução do processo scan-to-BIM proporcionou a otimização de recursos de projetos de manutenção e ampliou a precisão e a qualidade dos entregáveis subsequentes. Entre os desdobramentos está a quantificação atrelada à manutenção do pavimento, que contribui para a programação de equipamentos e materiais no campo.

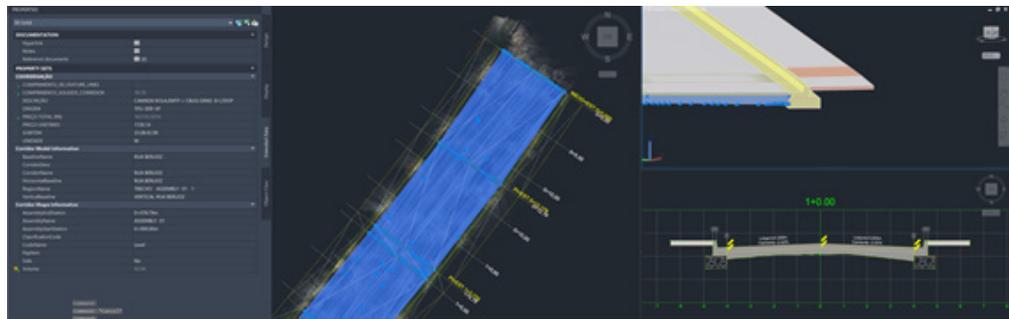


Figura 9
Objeto paramétrico do recapeamento com dados quantitativos e custos associados.

Cross Slope Correction Report Milling and Leveling Report															
Offset: 5.000m															
Station	Edge Point 2		Edge Point 1		Control Point 1		Incremental Offset Report			Control Point 1		Edge Point 1		Edge Point 2	
	Offset	Mill/Level	Offset	Mill/Level	Offset	Mill/Level	-5.000m	0.000m	5.000m	Offset	Mill/Level	Offset	Mill/Level	Offset	Mill/Level
0+000.00m	-4.000m	-0.130m	0.000m	-0.130m	0.000m	-0.130m				3.530m	-0.100m	0.000m	-0.130m	4.000m	-0.130m
0+012.18m	-4.000m	-0.101m	0.000m	-0.101m	0.000m	-0.101m				3.875m	-0.100m	0.000m	-0.101m	4.000m	-0.101m
0+023.78m	-4.000m	-0.166m	0.000m	-0.166m	0.000m	-0.166m				3.750m	-0.100m	0.000m	-0.166m	4.000m	-0.166m
0+025.00m	-4.000m	-0.114m	0.000m	-0.114m	-3.829m	-0.100m				3.982m	-0.109m	0.000m	-0.114m	4.000m	-0.114m
0+036.00m	-4.000m	-0.148m	0.000m	-0.148m	-0.232m	-0.140m				3.139m	-0.100m	0.000m	-0.148m	4.000m	-0.148m
0+039.26m	-4.000m	-0.177m	0.000m	-0.177m	-3.923m	-0.172m				3.557m	-0.100m	0.000m	-0.177m	4.000m	-0.177m
0+050.00m	-4.000m	-0.143m	0.000m	-0.143m	-0.068m	-0.131m				3.233m	-0.100m	0.000m	-0.143m	4.000m	-0.143m
0+056.46m	-4.000m	-0.105m	0.000m	-0.105m	-3.017m	-0.100m				0.887m	-0.103m	0.000m	-0.105m	4.000m	-0.105m
0+075.00m	-4.000m	-0.107m	0.000m	-0.107m	-0.846m	-0.100m				4.000m	-0.107m	0.000m	-0.107m	4.000m	-0.107m
0+076.92m	-4.000m	-0.121m	0.000m	-0.121m	-3.189m	-0.100m				3.999m	-0.121m	0.000m	-0.121m	4.000m	-0.121m
0+078.79m	-4.000m	-0.113m	0.000m	-0.113m	-2.540m	-0.100m				3.626m	-0.108m	0.000m	-0.113m	4.000m	-0.113m

Figura 10
Nota de Serviço para locação em campo, fresagem e recapeamento.

	Tipo	Área m²	Volume m³	Acumulado m³
Estaca: 0+0.000				
	FRESAGEM	1.12	0.00	0.00
	RECAPEAMENTO	0.48	0.00	0.00
Estaca: 0+5.000				
	FRESAGEM	1.11	5.56	5.56
	RECAPEAMENTO	0.48	2.40	2.40
Estaca: 0+10.000				
	FRESAGEM	1.03	5.34	10.91
	RECAPEAMENTO	0.48	2.40	4.80
Estaca: 0+12.178				
	FRESAGEM	1.09	2.31	13.22
	RECAPEAMENTO	0.48	1.05	5.85
Estaca: 0+15.000				
	FRESAGEM	1.15	3.17	16.39
	RECAPEAMENTO	0.48	1.35	7.20
Estaca: 1+0.000				
	FRESAGEM	1.00	5.37	21.76
	RECAPEAMENTO	0.48	3.40	9.40
Estaca: 2+5.000				
	FRESAGEM	1.20	6.76	51.66
	RECAPEAMENTO	0.48	2.40	21.60
Estaca: 2+10.000				
	FRESAGEM	1.22	6.04	57.70
	RECAPEAMENTO	0.48	2.40	24.00
Estaca: 2+15.000				
	FRESAGEM	1.00	5.55	63.25
	RECAPEAMENTO	0.48	2.40	26.40
Estaca: 2+16.457				
	FRESAGEM	0.89	1.38	64.63
	RECAPEAMENTO	0.48	0.70	27.10
Estaca: 3+0.000				
	FRESAGEM	1.32	3.92	68.55
	RECAPEAMENTO	0.48	1.70	28.80
Estaca: 3+5.000				
	FRESAGEM	3.40	11.80	80.36
	RECAPEAMENTO	0.48	2.40	31.20

Figura 11
Quadro com área, volume e volume acumulado.

4. Considerações finais

O presente artigo avaliou o emprego do LiDAR embarcado em um dispositivo móvel como recurso acessível no levantamento de condições existentes do pavimento de um trecho de via típico de municípios brasileiros. Observou-se o potencial de obtenção dos dados de forma ágil e otimizada em termos de custos, e como o modelo de nuvem de pontos gerado e integrado a soluções CAD/BIM subsidia propostas de manutenção favorecendo seu controle qualitativo e quantitativo. O uso de dispositivos móveis também pode atender a outras atividades de levantamento e inspeção visual do pavimento – fazendo-se uso de soluções de armazenamento em nuvem, checklists e registros digitais. Finalmente, o processo scan-to-BIM, como apresentado, viabiliza à administração a criação de um inventário digital de superfícies de pavimento e a manutenção de um cadastro vivo, integrado com o histórico de inspeções e manutenções realizadas – bem como o uso desse acervo para novos projetos e disciplinas.

Referências

- [1] L. B. Bernucci, *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*. Rio de Janeiro, Petrobras.: ABEDA, 2006.
- [2] J. D. Mascarenhas Neto, *Methodo para construir as estradas em Portugal*. Porto, in oficina de António Alvarez Ribeiro, 1790.
- [3] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, *Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos*. Rio de Janeiro, 2006.
- [4] Folha de S. Paulo, *Asfalto Novo gerou prejuízo de R\$ 2 mi à prefeitura de SP, diz TCM*, 2019. Disponível: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2019/05/asfalto-novo-gerou-prejuizo-de-r-2-mi-a-prefeitura-de-sp-diz-tcm.shtml>. Acesso em: 29 dezembro 2021
- [5] X. Liu, X. Wang, G. Wright, J. C. Cheng, X. Li, R. Liu. "A state-of-the-art review on the integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS)", *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 6, p. 53, 2017.
- [6] B. Sankaran, G. Nevett, W. J. O'Brien, P. M. Godrum, J. Johnson, "Civil integrated management: empirical study of digital practices in highway project delivery and asset management", *Automation in Construction*, vol. 87, pp. 84-95, 2018.
- [7] F. Tang, T. Ma, J. Zhang, " Integrating three-dimensional road design and pavement structure analysis based on BIM", *Automation in Construction*, vol. 113, 2020.

- [8] C.Heikkila, M. Marttinen, " Development of BIM based rehabilitation and maintenance process for roads", in *International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining* (2013), Montreal, Canada, 2013, p. 1.
- [9] A. Costin, A. Adibfar, H. Hu, and S. S. Chen, "Building information modeling (BIM) for transportation infrastructure – literature review, applications, challenges, and recommendations", *Automation in Construction*, vol. 94, pp. 257-281, 2018.
- [10] C. Oreto, S. A. Biancardo, N. Viscione, R. Veropalumbo, F. Russo, "Road Pavement Information Modeling through Maintenance Scenario Evaluation", *Journal of Advanced Transportation*, 2021.
- [11] R. K. Yin, *Estudo de Caso: Planejamento e métodos*. Porto Alegre, Bookman editora, 2015.
- [12] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, *Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos Terminologia*. Rio de Janeiro, 2003.
- [13] Extra, iPhone 12 Pro Apple 512GB Azul-Pacífico Tela de 6,1", Câmera Tripla de 12MP, iOS, 2021. Disponível: shorturl.at/itAF4. Acesso em: 29 dezembro 2021
- [14] Amira, Simulador Referencial de Preços de Serviços de Agrimensura, 2021. Disponível: <https://www.amiranet.com.br/simulador>. Acesso em: 29 dezembro 2021
- [15] J. M. A. M. Campos, M. S. Moraes, "Análise Comparativa entre Levantamentos Topográficos: Estação Total, Laser Scanner Terrestre e Drone", in *COBRAC* (2014).
- [16] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, *Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos*. Rio de Janeiro, 2003.