



AVALIAÇÃO DE PROCESSO DE COLETA DE DADOS POR IMAGEM PARA AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS

Evaluation of the image data collection process for pavement evaluation

Juliana Yuri Matsumoto; Gabriel Gonçalves Sardinha Zulian; Carlos Alberto Prado da Silva Junior; Heliana Barbosa Fontenele

Universidade Estadual de Londrina – UEL, Londrina, PR

E-mail: juliana.yuri.matsumoto@uel.br, gabriel.sardinha@uel.br, cprado@uel.br, heliana@uel.br

RESUMO –A avaliação da condição do pavimento é uma das principais etapas de um SGP, pois é a partir dos dados nela obtidos que será identificado se o pavimento foi bem construído, e atende às especificações de projeto e se necessita de manutenção. Essas informações são utilizadas pelos órgãos administrativos com a finalidade de destinar corretamente os recursos disponíveis. Dessa forma há um estímulo para a automação desses processos a fim de torná-los mais seguros e eficientes. Deste modo, este trabalho tem objetivo geral analisar um processo de coleta de dados por imagem para aplicar na avaliação da condição de pavimentos. Para isso foram coletadas imagens digitais do pavimento e disponibilizadas para diferentes grupos de avaliadores por meio de um formulário. Foi possível verificar a confiabilidade das avaliações feitas com as imagens dos pavimentos a partir da correlação e homogeneidade das respostas, considerando tanto a avaliação entre os grupos quanto as comparações entre os membros. Concluiu-se que as respostas apresentaram consistência nas notas atribuídas e que as avaliações utilizando imagens tiveram pouca diferença entre os grupos. Assim, o método pode ser considerado confiável e promissor para o processo de automatização da coleta de informações sobre a condição do pavimento empregando imagens digitais.

Palavras-chave: Avaliação de pavimentos, Coleta de dados por imagem, Automação de processos, Confiabilidade das avaliações.

ABSTRACT – The evaluation of pavement condition is one of the main stages of a SGP, since it is from the data obtained in it that it will be identified if the pavement was well built, if it meets the design specifications and if it needs maintenance. This information is used by the administrative bodies in order to correctly allocate the available resources. For this reason, there is an incentive to automate these processes in order to make them safer and more efficient. Thus, this research has the general objective of analyzing a data collection process by image to be applied in the evaluation of the condition of pavements. For this, digital images of the pavement were collected and then made available to different groups of evaluators through a form. It was possible to verify the reliability of the evaluations made with the images of the pavements based on the correlation and homogeneity of the answers, considering both the evaluation between the groups and the comparisons between the members. It was concluded that the responses showed consistency in the assigned grades and that the assessments using images had little difference between the groups. Thus, the method used can be considered reliable and promising for the process of automating the collection of information on the condition of the pavement using digital images.

Keywords: Pavement evaluation, Assessment reliability, Image-based data collection, Process automation.

1. INTRODUÇÃO

A avaliação da condição do pavimento é uma das mais importantes atividades de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SPG). De acordo com Ferreira (2010) o SGP é o termo utilizado para descrever o conjunto de ações relacionadas à seleção e priorização das atividades de manutenção e reabilitação dos pavimentos. Dessa maneira, para Danielecki (2004), a condição de um pavimento inclui quatro componentes principais: conforto de rodagem, capacidade de suportar cargas a que estão sujeitas, segurança e conforto visual (estética). Esse último componente de acordo com Hass e Hudson (1978) está atrelado à opinião do usuário.

A função do SGP, segundo Pedroza (2019), é auxiliar a tomada de decisão relacionando as atividades de diversas áreas gerenciais para identificar a alternativa mais viável tanto em termos técnicos quanto econômicos. Os levantamentos de dados de pavimentos podem ser realizados de três formas: manual, semiautomática ou totalmente automatizada. Nas inspeções manuais os avaliadores realizam, ao caminhar ao longo da superfície do pavimento ou de dentro de um veículo lento (inspeção para-brisa), um levantamento visual do estado da superfície dos pavimentos e/ou coletam informações relativas aos defeitos. No método semiautomatizado os dados são coletados de forma automatizada por imagens e, em escritório, os avaliadores analisam os tipos, extensões e severidades dos defeitos constantes em cada uma das imagens. Já no totalmente automatizado as avaliações dos defeitos são feitas com o uso de softwares de processamento de imagens e reconhecimento de padrões para o reconhecimento e a quantificação dos defeitos (Kargah-Ostadi *et al.*, 2017).

De acordo com Nascimento e Lomba (2020), a automatização na coleta das informações sobre o pavimento é um procedimento que se alinha com a tendência global, que busca obter dados de maneira ágil e eficiente. A coleta automatizada de dados pode ser realizada através da utilização de câmeras digitais acopladas em veículos de passeio, smartphones fixados em veículos para capturar fotografias/filmagens da superfície do pavimento, ou por meio de Drones equipados com câmeras, que realizam sobrevoos da via e registram as informações em formato de imagem.

Em ambos os métodos, a fotografia coletada é submetida a processos de análise, sendo estes integralmente computacionais ou conduzido por avaliadores, com a finalidade de identificar os defeitos superficiais da via (remendo, fendas, painéis). Esses defeitos indicam o estado de conservação e a necessidade de manutenção da via. Também revelam possíveis problemas na qualidade da construção do pavimento.

Cada método requer precauções específicas, conforme Ribeiro e Andrade (2021) para a realização da coleta de imagens utilizando um veículo, é necessário que este esteja equipado com as ferramentas adequadas para captura de imagens, posicionadas em locais que evitem possíveis obstruções na visualização. Já para a utilização com os Drones explica Ferreira *et al.* (2013) que alguns fatores devem ser considerados: condições legais de operação, possíveis obstáculos como torres, proximidade de aeroportos, limites das áreas urbanas, morfologia do terreno, condições de vento e locais para pouso e decolagem.

Dessa maneira, o objetivo geral deste trabalho é avaliar um processo de coleta de dados por imagem para aplicar na avaliação da condição de pavimentos flexíveis na área urbana.

A avaliação da condição do pavimento é abrangente e composta por diversas abordagens, incluindo, mas não se limitando a: avaliação da condição estrutural, levantamento da irregularidade longitudinal, avaliação da condição da superfície de pavimentos e aderência, como também o cadastramento de estruturas físicas das rodovias. Este trabalho se concentra exclusivamente nos métodos de levantamentos de defeitos do pavimento, o aspecto funcional da via.

Visto que os recursos dos órgãos responsáveis pela manutenção de pavimentos estão cada vez mais limitados, destaca-se a importância de estudos relativos a procedimentos para melhorar a eficiência e a produtividade nas coletas de dados, bem como suas análises. Procedimentos não só práticos, mas que forneçam informações válidas e de baixo custo sobre a condição dos pavimentos para fortalecer o controle de qualidade e que contribuam para a melhor utilização dos recursos.

Sendo assim, a pesquisa contribuirá para que os planos para manutenção e possíveis intervenções nas vias possam ser realizadas com redução de custos de coleta de dados e de tempo de análise.

2. MÉTODO

2.1. Delineamento da pesquisa

Para esta pesquisa foi proposto um procedimento de coleta de imagens digitais para serem utilizadas em uma avaliação subjetiva da condição dos pavimentos. As imagens da superfície de pavimentos urbanos foram registradas por meio de smartphones. Como a classificação da condição dos pavimentos foi elaborada para ser realizada de forma remota, as imagens foram disponibilizadas em um questionário online para que diferentes grupos de avaliadores dessem notas ao possível conforto que uma via naquela condição proporcionaria. Após essa etapa, foram realizadas análises comparativas entre as respostas dos grupos avaliadores.

2.2. Registro das imagens

As amostras para avaliação foram coletadas a partir de fotografias de pavimentos secos da área urbana em diferentes regiões do município origem do estudo. As regiões foram escolhidas a partir do estado de desgaste em que as vias se encontravam. Dessa forma, com os locais definidos, foi determinada uma faixa de horário ideal para que os registros fossem feitos. Foi dada preferência para obtenção das fotografias no começo da manhã e no final da tarde, para evitar que as sombras, reflexos e outros comprometessem a visualização do pavimento na imagem produzida.

Outros fatores analisados foram o ângulo de inclinação do dispositivo de coleta, quantidade e edição das imagens. O ângulo de inclinação foi determinado com base na perspectiva desejada da via, estabelecendo uma distância de pelo menos oito metros, para que as análises não fossem tendenciosas para algum detalhe do pavimento. Foram fotografados dez locais distintos, com edições recomendadas pelos próprios aparelhos de coleta, que nesta pesquisa foram um Iphone 11 e um Iphone X, ambos com 12 MP (Megapixels) de resolução de imagem.

A coleta foi conduzida manualmente com o aparelho celular em posição vertical, enquanto o operador se encontrava sobre a via, ajustando o ângulo, conforme já indicado e o posicionamento para capturar as imagens, no centro do pavimento. Posteriormente, as imagens foram submetidas ao processo de edição.

2.3. Procedimento online para a avaliação subjetiva da condição do pavimento das imagens

Com base nas imagens capturadas, foi elaborado um questionário no Google Forms para executar a avaliação online da condição da superfície do pavimento. O questionário foi disponibilizado para dois grupos distintos: i) para experts na área de transportes e ii) alunos do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Londrina (UEL). Vale ressaltar que os experts são profissionais de atuação no mercado de trabalho da área de infraestrutura de transporte, bem como docentes, e que os alunos não receberam nenhum tipo de treinamento para a avaliação.

Assim, foram criados dois questionários que continham as mesmas imagens, porém com diferenças nas três primeiras perguntas apresentadas em cada questionário. Na Tabela 1 estão as perguntas direcionadas ao grupo dos experts e as perguntas direcionadas ao grupo de estudantes. Vale ressaltar que o curso de Engenharia Civil da UEL é organizado em um sistema seriado, portanto durante a análise dos dados os alunos participantes foram divididos de acordo com a sua série de estudo. A divulgação dos formulários ocorreu por meio de canais digitais incluindo o envio de e-mails e publicação nas redes sociais, como WhatsApp e Instagram.

Tabela 1. Perguntas direcionadas ao grupo de experts e ao grupo de estudantes.

Experts	Estudantes
Durante a sua formação acadêmica, quando teve contato com a área de transportes (infraestrutura e/ou planejamento)? (escolher a mais recente)	Qual série está cursando?
Você atua na área de transportes (infraestrutura e/ou planejamento)?	Já cursou ou está cursando a matéria de Estradas?
Em qual setor?	Você já teve algum contato com a área de transporte -pelo estágio, curso a parte ou trabalho- seja na infraestrutura ou no planejamento?

Fonte: Os autores.

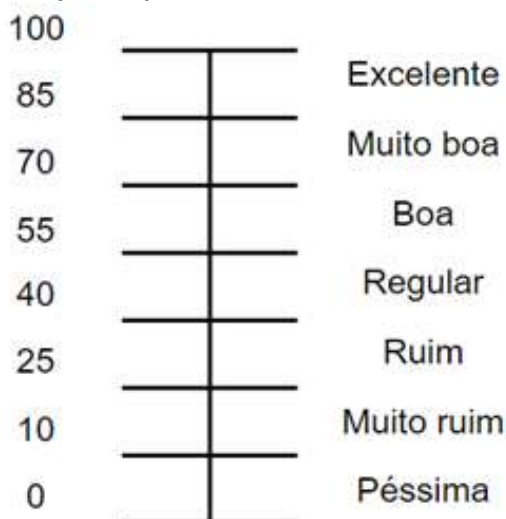
Com o objetivo de fornecer orientações aos avaliadores sobre a condução adequada do processo de avaliação foram apresentadas as seguintes orientações antes de cada imagem:

Se concentre apenas na situação atual do pavimento:

- Utilize a escala de notas para a classificação dos pavimentos;
- Desconsidere a sinalização e geometria da via;
- Desconsidere as notas atribuídas nas imagens anteriores.

Na sequência os avaliadores deveriam avaliar as vias fotografadas, atribuindo uma nota entre 0 (péssima) e 100 (excelente) de acordo com uma escala de notas disponibilizada para auxiliar na classificação da condição do pavimento, conforme representada na Figura 1. A escala adotada para este estudo se baseou na mesma utilizada no estudo de Aramayo, Silva Junior e Fontenele (2019).

Figura 1. Escala de notas para a avaliação subjetiva



Fonte: (Adaptada de ASTM, 2018).

Na Figura 2 é apresentado um exemplo de como as imagens foram disponibilizadas para análise das notas para ambos os grupos. Para cada segmento, foi apresentada uma única imagem para avaliação. A sequência adotada foi aquela em que a figura é apresentada inicialmente, seguida da escala de referência e posteriormente pelo campo para preenchimento da nota. A opção da nota ficou restrita para que os participantes fornecessem números inteiros.

Figura 2. Exemplo de uma questão do questionário disponibilizado aos grupos
Imagem 3



Utilize a escala de classificação abaixo para dar sua nota para a imagem 3. Sua nota atribuída pode ser e 0 a 100, onde 0 identifica a pior situação do pavimento e 100 a melhor.

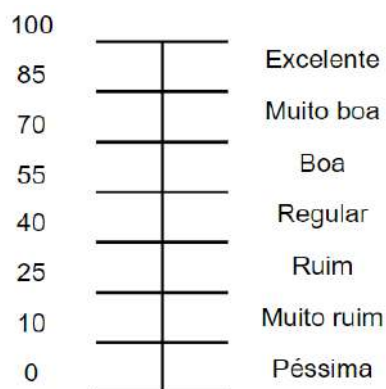


Imagem 3 - Qual a sua nota para a classificação do pavimento? (somente números inteiros)

Fonte: Os autores.

2.4. Análise estatística

Com base nos dados obtidos por meio do formulário do Google, realizou-se uma análise estatística das respostas obtidas. Para isso foi elaborado um gráfico que divide os alunos matriculados no curso entre aqueles que responderam e os que não responderam à pesquisa.

Foi realizada uma comparação entre a média de notas atribuídas para cada imagem pelos grupos avaliadores, tendo como referência a média de notas atribuídas pelos especialistas. A análise incluiu gráficos de dispersão das notas individuais e médias de cada grupo, a fim de verificar a homogeneidade e coerência dos resultados, conforme Pereira (2019).

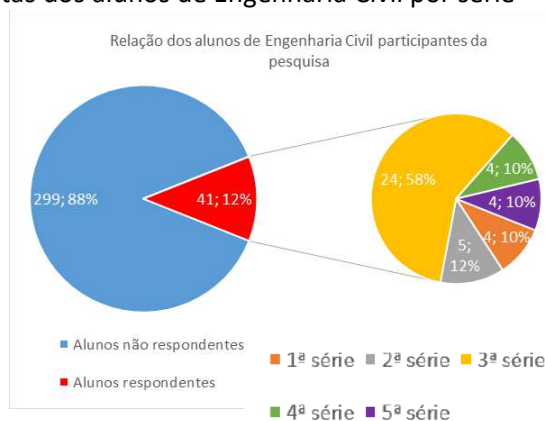
Além da análise de correlação dos experts e das séries, também foram examinados os valores do desvio padrão de cada grupo. Para este trabalho foram adotados critérios semelhantes aos estudos de Pereira *et al.* (2013) e Aramayo, Silva Junior e Fontenele (2019), em que foi considerado 10% da escala numérica de avaliação como o valor aceitável.

3. RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados desta pesquisa. A partir das respostas registradas pelo Google Forms, foi possível realizar uma análise estatística a fim de comparar os grupos avaliadores.

No geral, foram dez fotografias avaliadas por 14 experts na área e 41 estudantes de engenharia civil. É relevante notar que a parcela de estudantes que colaborou com a pesquisa corresponde a 12% do total de discentes matriculados no referido curso, conforme esquematizado na Figura 3. A comparação mencionada se revela significativa no sentido de determinar o alcance quantitativo das pessoas envolvidas na pesquisa, separadas por séries, e a proporção que representam em relação ao todo.

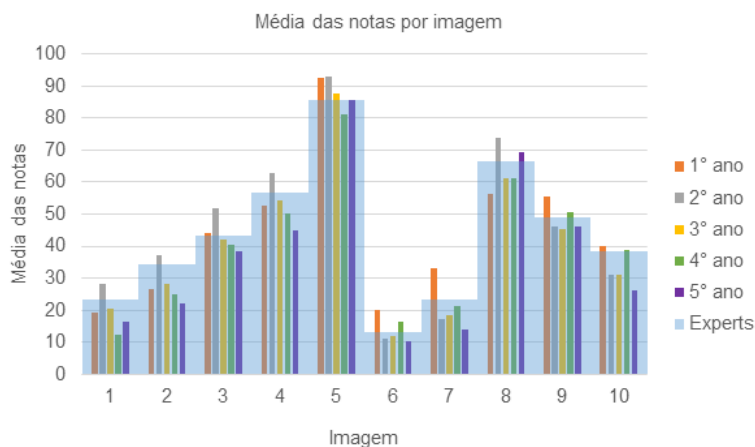
Figura 3. Percentual de respostas dos alunos de Engenharia Civil por série



Fonte: Os autores.

Na Figura 4 é apresentada a comparação entre as médias dos experts e os estudantes de graduação divididos em 1ª série, 2ª série, 3ª série, 4ª série e 5ª série. Observou-se que, em relação aos especialistas, na maioria das imagens os grupos de alunos foram mais rígidos na avaliação do pavimento, a exceção está nos estudantes da 1ª e 2ª séries que em cerca de 60% das imagens forneceram notas superiores às dos experts. Porém, na Tabela 2 pode ser visualizado que, quando foram classificadas pela escala qualitativa, de acordo com a média das notas, houve pouca distinção entre as avaliações.

Figura 4. Média das notas por imagem dos grupos avaliadores



Fonte: Os autores.

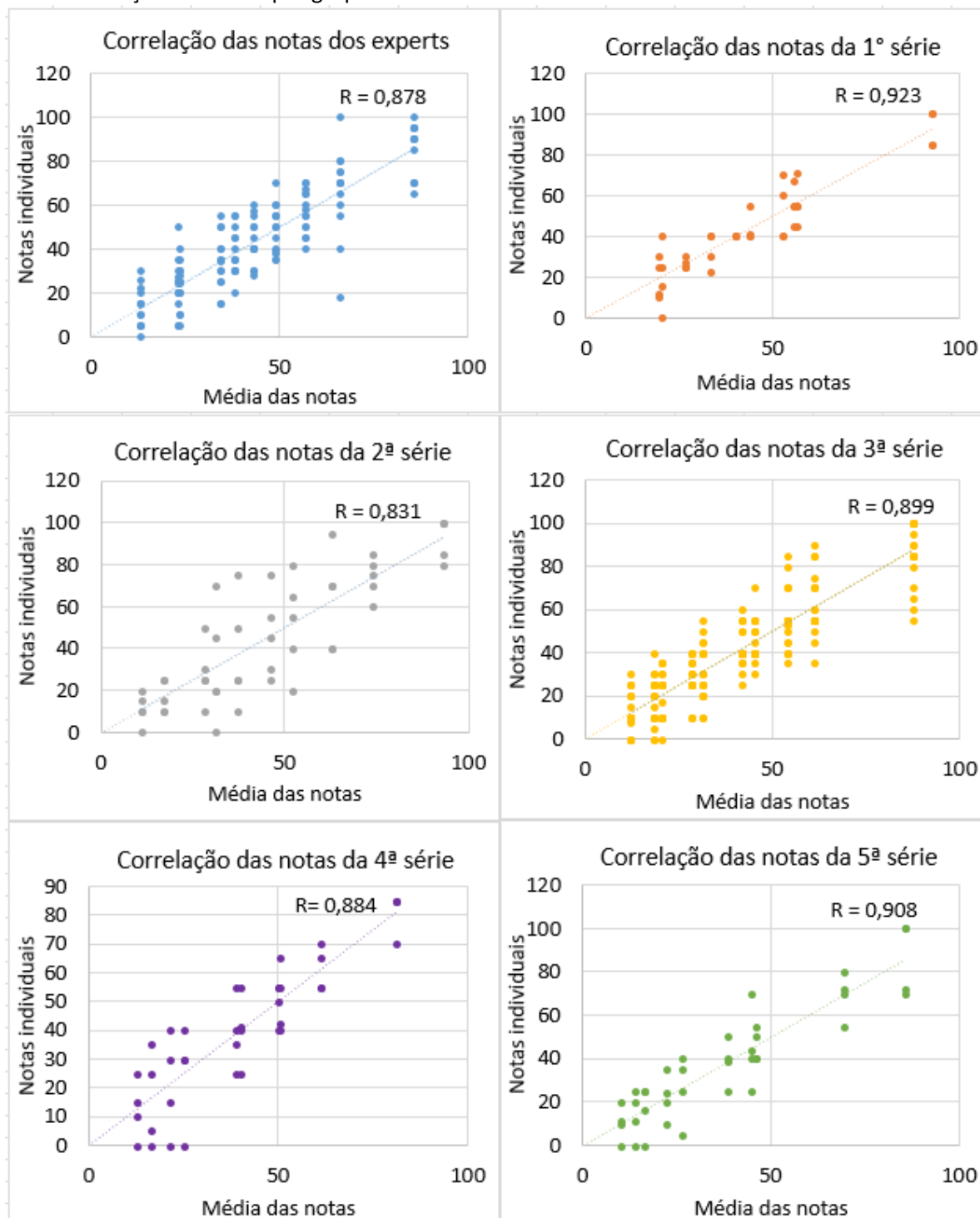
Tabela 2. Classificação qualitativa das imagens.

Grupos	Imagens									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Experts	Muito ruim	Ruim	Regular	Boa	Excelente	Muito ruim	Muito ruim	Boa	Regular	Ruim
1ª série	Muito ruim	Ruim	Regular	Regular	Excelente	Muito ruim	Ruim	Boa	Boa	Regular
2ª série	Ruim	Ruim	Regular	Boa	Excelente	Muito ruim	Muito ruim	Muito boa	Regular	Ruim
3ª série	Muito ruim	Ruim	Regular	Regular	Excelente	Muito ruim	Muito ruim	Boa	Regular	Ruim
4ª série	Muito ruim	Ruim	Regular	Regular	Muito boa	Muito ruim	Muito ruim	Boa	Regular	Ruim
5ª série	Muito ruim	Ruim	Ruim	Regular	Excelente	Muito ruim	Muito ruim	Boa	Regular	Ruim

Fonte: Os autores.

As notas individuais atribuídas pelos avaliadores a todas as imagens foram correlacionadas com as respectivas notas médias, como apresentado na Figura 5.

Figura 5. Correlação das notas por grupo avaliador

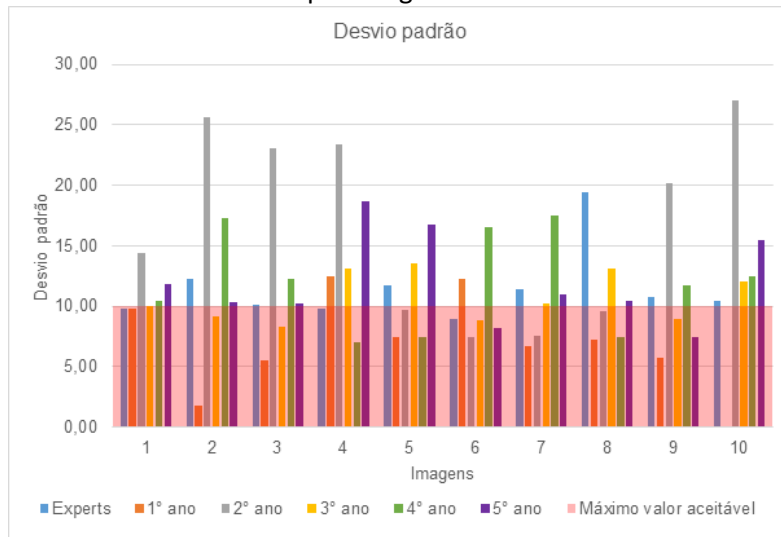


Fonte: Os autores.

Através da análise dos gráficos da Figura 5, constata-se coeficientes que representam uma correlação (R) entre os dados de cada grupo acima de 80%. De acordo com Evans (1996), coeficientes de correlação superiores a 0,8 (80%) indicam uma forte correlação.

Portanto, com base nos valores encontrados, pode-se afirmar que há uma alta correlação entre as notas individuais e as médias de cada grupo de avaliadores, isto é, os participantes da pesquisa apresentaram consistência e homogeneidade nas notas atribuídas entre si. Além disso, foi possível notar que os alunos da 1ª série apresentaram a maior correlação.

Para complementar as análises das notas atribuídas às imagens, foram calculados os valores de desvio padrão de cada fotografia para todos os grupos, como apresentado na Figura 6.

Figura 6. Desvio padrão das médias das notas por imagem

Fonte: Os autores.

Em relação ao desvio padrão nota-se que as imagens 2, 4, 5 e 10 foram as que apresentaram grupos de avaliadores com desvios acima de 10%. Sendo que pelo menos três grupos apresentaram um desvio padrão 15% maior que o aceitável (10%). Isso pode ser um indicativo de que as imagens possam ter gerado dúvidas na formação do juízo quanto ao seu estado da superfície. O valor médio das diferenças entre o máximo aceitável e os desvios de cada grupo, em módulo, foi de cerca de 2 pontos e em 25% das amostras a diferença não passou de 1 em relação ao máximo valor aceitável. Além disso, é possível notar que a 2ª série foi a que apresentou os maiores desvios em relação ao aceitável.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A automatização dos processos de coleta de informações para complementar um banco de dados é de grande importância para o sistema de gestão de pavimento. Nesse artigo foi possível analisar um método de avaliação do pavimento por meio de imagens digitais. Observou-se que a amostra de estudantes que respondeu a pesquisa foi inferior a metade dos estudantes matriculados no curso de Engenharia Civil.

Comparando também a avaliação dos especialistas com os estudantes foi possível notar uma diferença entre as médias das notas, mas que dentro do intervalo de classificações essa diferença mostrou-se pequena. A partir desses dados foi possível verificar a consistência dos dados obtidos pelas avaliações, e para todos os grupos de participantes a coerência da avaliação se mostrou presente, isto é, todos apresentaram forte correlação das notas individuais com a média ($R > 0,8$).

Já para os valores de desvio padrão pode se destacar algumas imagens em que mais de um grupo apresentou um desvio consideravelmente maior que o tolerável, uma possibilidade é que a imagem tenha causado dúvidas nos participantes ao classificarem a via.

A presente pesquisa demonstrou que a utilização de imagens obtidas por meio de smartphones para a coleta de dados do pavimento é promissora. Os resultados obtidos confirmam a consistência do método que se mostrou uma solução eficiente e confiável. A utilização de dispositivos móveis pode potencializar a eficiência das atividades de monitoramento de pavimentos. Portanto este estudo destaca a relevância desse método, abrindo possibilidades de pesquisa e desenvolvimento na coleta de informações automatizadas sobre o pavimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro à pesquisa, à Universidade Estadual de Londrina e ao Laboratório de engenharia de transportes pela infraestrutura disponibilizada, bem como aos profissionais e estudantes que participaram voluntariamente da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ARAMAYO, L.; SILVA JUNIOR, C. A. P.; FONTENELE, H. B. Escala visual para evaluación de pavimentos urbanos. *Rev. ing. constr.*, v. 34, n. 1, p. 45-54., 2019. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-50732019000100045>.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D6433 – 18 Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys**. 2018. Livro Anual da ASTM Standards, 2018. v. 6, p. 1 – 4.
- DANIELESKI, M. L. **Proposta de Metodologia para Avaliação Superficial de Pavimentos Urbanos**: Aplicação à Rede Viária de Porto Alegre. 2004. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2004.
- EVANS, J. D. **Straightforward statistics for the behavioral sciences**. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole Publishing, 1996.
- HASS, R.; HUDSON, W. R., **Pavement Management Systems**. New York: McGraw-Hill, 1978.
- KARGAH-OSTADI, N.; NAZEF, A; DALEIDEN, J.; ZHOU, Y. Evaluation Framework for Automated Pavement Distress Identification and Quantification Applications. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, n. 2639, p. 46–54, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3141/2639-06>.
- FERREIRA, A. M. R.; ROIG, H. L.; MAROTTA, G. S.; MENEZES, P. H. B. J. Utilização de aeronaves remotamente pilotadas para extração de mosaico georreferenciado multiespectral e modelo digital de elevação de altíssima resolução espacial. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. Anais [...]. Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 9308–9315.
- FERREIRA, E. R. **Procedimentos automáticos para apoio na avaliação de pavimentos com o uso de imagens digitais**. 2010. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.
- NASCIMENTO, N. M.; LOMBA, L. F. D. **Sistema de Avaliação de Pavimentos Utilizando Visão Computacional**. p. 604–606, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14210/cotb.v11n1.p604-606>.
- PEREIRA, L. A. **Escala visual**: uma ferramenta para a avaliação da condição da superfície de pavimentos urbanos. 2019. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, 2019.
- PEREIRA, L. A.; OLIVEIRA, F. M.; SILVA JÚNIOR, C. A. P.; FONTENELE, H. B. Utilização de Escala Visual para Avaliação das Vias Urbanas. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v.5, p.140 – 150, 2013.
- PEDROZA, R. A. Q. **Análise comparativa entre avaliações funcionais por vídeo registro e método do caminhamento**. 2019. Especialização (Monografia) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2019.
- RIBEIRO, R. L.; ANDRADE, M. Uso de ambientes virtuais para vistorias técnicas em auditoria e inspeção de segurança viária: um estudo de caso em trecho rural de rodovia duplicada. **Transportes**, v. 29, n. 1, p. 86–102, 2021. DOI: <https://doi.org/10.14295/transportes.v29i1.2216>.