



---

### ANÁLISE DAS RELAÇÕES ENTRE INDICADORES DE CONDIÇÃO SUPERFICIAL DE PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM

José Breno Ferreira Quariguasi\*<sup>1</sup>, Francisco Heber Lacerda de Oliveira<sup>1</sup>,  
1. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes. Departamento de Engenharia de Transportes.  
Universidade Federal do Ceará

\* Corresponding author e-mail address: brenoquariguasi@det.ufc.br

---

**PAPER ID: SITXXX**

#### ABSTRACT

Para garantir a segurança das operações aeroportuárias, as condições superficiais da pista de pouso e decolagem (PPD) devem ser monitoradas periodicamente. A tomada de decisão de estratégias de manutenção e reabilitação (M&R), muitas vezes, é fundamentada no *Pavement Condition Index* (PCI). Entretanto, outras informações relevantes da condição do pavimento podem não ser adequadamente representadas no PCI, tais como às relativas à condição de resistência à derrapagem, representada pelo coeficiente de atrito e pela macrotextura, à condição funcional, representada pelo *International Roughness Index* (IRI) e pelo PCI. Diante do exposto, esta pesquisa tem o objetivo de analisar a correlação entre as variáveis da condição funcional da PPD (IRI e PCI) e da condição de resistência à derrapagem (coeficiente de atrito e macrotextura). Essa análise foi realizada com dados de três PPD de aeroportos internacionais localizados no Brasil. A partir dos resultados, pode-se concluir que um único indicador não é suficiente para representar a condição global da PPD de maneira satisfatória. Logo, é importante que as demais variáveis sejam consideradas, dada sua relevância para a segurança das operações, na tomada de decisão no que tange a medidas de M&R.

**Palavras-chave:** Segurança operacional, Resistência à derrapagem, Condições funcionais, Condições de segurança.

#### AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## **1 INTRODUÇÃO**

Os acidentes aéreos estão relacionados a vários fatores, tais como a aeronave, o ambiente, o pavimento e a presença de contaminantes sobre a pista de pouso e decolagem (PPD), que possam interferir no contato entre o pneu e o pavimento (LIU *et al.*, 2024). Portanto, o monitoramento das propriedades superficiais do pavimento que afetam a resistência à derrapagem, como o coeficiente de atrito e a macrotextura, é importante para manter a segurança das operações de pousos e decolagens, além de auxiliar o operador de aeródromo na tomada de decisão das estratégias de manutenção e reabilitação (M&R).

Tais propriedades são importantes também para proporcionar o controle direcional das aeronaves. É por meio do atrito gerado entre os pneus das aeronaves e a superfície do pavimento que as aeronaves aceleram e desaceleram em segurança (NIU *et al.*, 2020). A macrotextura, por sua vez, possibilita a drenagem da água sobre o pavimento (FAA, 1997; ANAC, 2023).

Além do coeficiente de atrito e da macrotextura, a irregularidade longitudinal do pavimento também pode comprometer a segurança operacional, ao influenciar o conforto de rolamento, o controle direcional das aeronaves e a eficiência do transporte. Podendo ser medida pelo *International Roughness Index* (IRI), essa irregularidade longitudinal é um parâmetro frequentemente monitorado em pavimentos asfálticos rodoviários, a fim de garantir níveis adequados de segurança e desempenho (XU *et al.*, 2024).

Os defeitos do pavimento também são outros aspectos que podem afetar a segurança operacional e que podem ser quantificados e qualificados pelo *Pavement Condition Index* (PCI). O PCI é um indicador abrangente da condição do pavimento, baseado na identificação de diversos tipos de defeitos superficiais e suas severidades que podem causar danos a equipamentos, veículos ou aeronaves e representar riscos à segurança (SHAHIN, 2005; TEDESCHI; BENEDETTO, 2017; LI *et al.*, 2022).

Autoridades de aviação civil, como a *Federal Aviation Administration* (FAA, 2014a) e a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2017), sugerem o uso do PCI em seus Sistemas de Gerência de Pavimentos Aeroportuários. No entanto, o PCI não incorpora diretamente outros parâmetros relevantes, como a resistência à derrapagem e a irregularidade longitudinal, que são relevantes para a definição de estratégias de M&R e para a segurança das operações de pouso e decolagem. Diante do exposto, esta pesquisa tem como objetivo analisar a correlação entre as variáveis das condições de segurança, representadas pelo coeficiente de atrito e pela macrotextura, e funcionais, representadas pelo IRI e pelo PCI.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

O atrito em pavimentos asfálticos é um fator fundamental para a segurança operacional, uma vez que níveis inadequados de atrito estão associados ao aumento na ocorrência de acidentes (LI *et al.*, 2018). O coeficiente de atrito, uma medida adimensional amplamente utilizada, é o parâmetro convencional para caracterizar a interação entre o pneu e a superfície do pavimento. Do ponto de vista físico, esse coeficiente é definido como a razão entre a força tangencial na interface pneu-pavimento e a força normal exercida sobre o pneu (KOGBARA *et al.*, 2016).

Além do coeficiente de atrito, as características superficiais do pavimento, especialmente sua textura, desempenham uma função relevante na geração de atrito na interface pneu-pavimento. A textura pode ser classificada, com base nos comprimentos de onda, em quatro níveis: irregularidade,

megatextura, macrotextura e microtextura (Henry, 2000; Bernucci et al., 2008). Dentre esses níveis, a macrotextura e a microtextura são os mais relevantes para as propriedades de atrito. A macrotextura está associada às irregularidades mais amplas da superfície do pavimento, relacionadas aos vazios entre os agregados (MASAD *et al.*, 2010), e influencia principalmente o escoamento de água e o contato global com o pneu. Por sua vez, a microtextura refere-se às pequenas rugosidades presentes na superfície dos agregados, que não são visíveis a olho nu, mas perceptíveis ao toque, e são determinantes para o atrito em condições de baixa velocidade (YU *et al.*, 2020). Em termos funcionais, enquanto a macrotextura afeta a drenagem e o desempenho em frenagens sob chuva, a microtextura é essencial para a aderência em condições secas e molhadas.

A irregularidade longitudinal do pavimento também representa um aspecto importante para a segurança e o desempenho funcional, sobretudo em PPD. Sua avaliação adequada contribui para a melhoria do conforto de rolamento, a redução de cargas dinâmicas e a otimização das estratégias de manutenção. O IRI, desenvolvido pelo Banco Mundial na década de 1980, é a métrica mais utilizada para quantificar essa irregularidade em sistemas de gerenciamento de pavimentos (SAYERS *et al.*, 1986). Reconhecido por sua padronização e sensibilidade ao desempenho funcional, o IRI é adotado como indicador de qualidade da superfície e condição operacional do pavimento (SAYERS; KARAMIHAS, 1998; MÚCKA, 2017).

Enquanto o IRI está voltado predominantemente para a avaliação funcional da superfície, o PCI oferece uma abordagem mais abrangente, incorporando aspectos visuais da deterioração do pavimento. Segundo a *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2020), o PCI é uma métrica fundamentada no julgamento técnico de engenheiros especializados em manutenção de pavimentos. Essa medida está diretamente associada à definição de intervenções de M&R, e indiretamente relacionada à integridade estrutural e à condição funcional do pavimento. Especificamente para pavimentos aeroportuários, o PCI foi desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos e, posteriormente, validado e adotado pela *Federal Aviation Administration* (FAA, 2014b) como um dos principais indicadores de desempenho em sistemas de gerenciamento aeroportuário.

### 3 MÉTODO DE PESQUISA

Esta pesquisa pode ser dividida em três etapas. A primeira diz respeito ao preparo do banco de dados, a segunda é relativa ao teste de hipótese, no que tange à normalidade dos dados, e a última trata das correlações entre as variáveis coeficiente de atrito, macrotextura, IRI e PCI.

Para a elaboração do banco de dados, foram considerados dados de coeficiente de atrito, macrotextura, IRI e PCI oriundos de três PPD de aeroportos internacionais localizados no Brasil, denominadas de PPD 1, PPD 2 e PPD 3. Todas essas PPD são constituídas de revestimento em Concreto Asfáltico. A Tabela 1 apresenta a descrição física das pistas.

**Tabela 1:** Descrição físicas das PPDs utilizadas.

| Descrição | Comprimento (m) | Largura (m) | Grooving |
|-----------|-----------------|-------------|----------|
| PPD 1     | 2.800           | 45          | Sim      |
| PPD 2     | 2.755           | 45          | Não      |
| PPD 3     | 3.200           | 45          | Sim      |

Para garantir a compatibilidade entre as variáveis, aquelas que não seguiam esse formato foram ajustadas conforme essa estrutura. No caso da macrotextura, medida a cada 100 m a 3 m do eixo longitudinal e alternando os lados, adotou-se a média dos valores disponíveis para preencher as lacunas sem medição. Para as seções a 6 m do eixo, os dados obtidos a 3 m foram replicados. Com relação ao IRI, os valores registrados em trechos de 200 m foram duplicados para representar os trechos de 100 m. Por sua vez, os valores de PCI correspondentes às áreas que abrangem as seções

de 3 m e 6 m, em ambos os lados da pista, foram utilizados como representativos dos trechos de 100 m equivalentes.

Destaca-se que os dados adotados nesta pesquisa são oriundos de relatórios de medição obtidos via ANAC. A Tabela 2 exibe um resumo dos dados.

**Tabela 2:** Quadro resumo dos dados adotados.

| PPD | Variável               | Quantidade de relatórios | Data inicial | Data final |
|-----|------------------------|--------------------------|--------------|------------|
| 1   | Coefficiente de atrito | 10                       | 01/2022      | 06/2023    |
|     | IRI                    | 2                        | 07/2021      | 06/2023    |
|     | PCI                    | 1                        | 03/2021      | 03/2022    |
| 2   | Coefficiente de atrito | 15                       | 02/2022      | 09/2023    |
|     | Macrot textura         | 17                       | 05/2020      | 07/2023    |
|     | IRI                    | 3                        | 02/2020      | 11/2023    |
|     | PCI                    | 3                        | 10/2021      | 09/2021    |
| 3   | Coefficiente de atrito | 13                       | 05/2020      | 08/2023    |
|     | IRI                    | 2                        | 10/2021      | 01/2022    |
|     | PCI                    | 1                        | 09/2021      | 09/2021    |

A segunda etapa foi executada por meio de bibliotecas de manipulação de dados, como Numpy e Pandas, de visualização de dados, como Matplotlib e Seaborn, e de análise estatística, como Scipy, utilizando a linguagem de programação Python. As análises compreendem testes de normalidade e correlação. Para os testes de normalidade, foram utilizadas três funções da biblioteca Scipy, são elas: normaltest (D'Agostino-Pearson), shapiro (ShapiroWilk) e kstest (Kolmogorov-Smirnov).

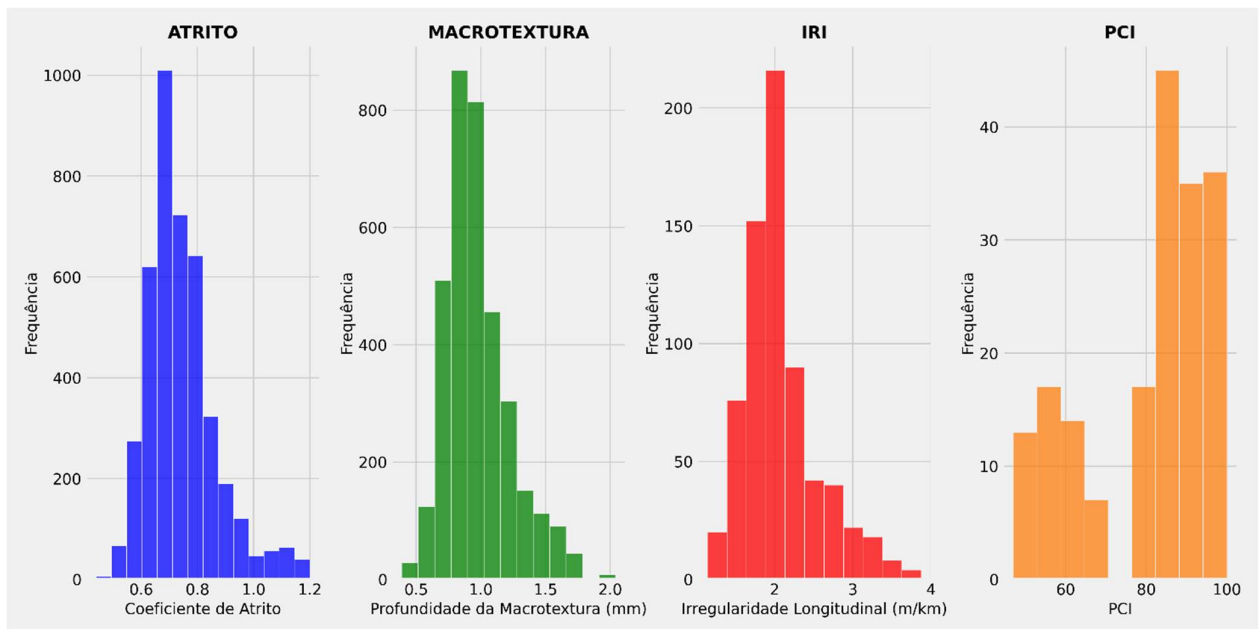
Para a última etapa, foi empregado o teste de correlação por meio do método de Spearman da biblioteca Pandas. Para tanto, foi considerado um nível de significância de 5%.

## 4 RESULTADOS

Após a organização dos dados foi elaborada a estatística descritiva conforme apresentada na Tabela 3. No tocante a distribuição das variáveis, a Figura 1 exibe seus histogramas.

**Tabela 3:** Estatística descritiva dos parâmetros para todas as PPDs.

| Descrição                | Coefficiente de atrito | Macrot textura (mm) | IRI (m/km) | PCI    |
|--------------------------|------------------------|---------------------|------------|--------|
| Quantidade               | 4.180                  | 3.512               | 688        | 184    |
| Média                    | 0,74                   | 0,97                | 2,07       | 81,11  |
| Desvio padrão            | 6,17                   | 3,88                | 4,40       | 5,18   |
| Coefficiente de variação | 0,44                   | 0,39                | 1,14       | 47,00  |
| 25%                      | 0,66                   | 0,80                | 1,78       | 69,00  |
| 50%                      | 0,72                   | 0,93                | 1,97       | 87,00  |
| 75%                      | 0,80                   | 1,10                | 2,22       | 94,00  |
| Máximo                   | 1,20                   | 2,01                | 3,88       | 100,00 |



**Figura 1:** Distribuição dos parâmetros para todas as PPDs.

Com o objetivo de subsidiar a escolha do teste de correlação mais adequado, foram realizados testes de normalidades nas variáveis coeficiente de atrito, macrotextura, IRI e PCI. A Tabela 2 apresenta os resultados de valor-p obtidos para cada PPD. Nos testes aplicados, a hipótese nula corresponde à suposição de que os dados seguem uma distribuição normal, enquanto a hipótese alternativa indica que os dados não seguem essa distribuição.

**Tabela 2:** Resultados dos testes de normalidade.

| PPD | Variável              | Normaltest | Shapiro | Kstest |
|-----|-----------------------|------------|---------|--------|
| 1   | Coeficiente de atrito | 0,00       | 0,00    | 0,00   |
|     | IRI                   | 0,00       | 0,00    | 0,00   |
|     | PCI                   | 0,10       | 0,02    | 0,00   |
| 2   | Coeficiente de atrito | 0,14       | 0,00    | 0,00   |
|     | Macrotextura          | 0,00       | 0,00    | 0,00   |
|     | IRI                   | 0,00       | 0,00    | 0,00   |
|     | PCI                   | 0,00       | 0,00    | 0,00   |
| 3   | Coeficiente de atrito | 0,00       | 0,00    | 0,00   |
|     | IRI                   | 0,04       | 0,00    | 0,00   |
|     | PCI                   | 0,00       | 0,00    | 0,00   |

A análise da Tabela 2 mostra que apenas dois resultados apresentaram valor-p superior a 0,05, considerando um nível de significância de 5%: o PCI na PPD 1 (0,10) e o coeficiente de atrito na PPD 2 (0,14), ambos conforme o teste de normalidade de D'Agostino-Pearson (Normaltest). No entanto, os demais testes indicaram que esses parâmetros não seguem uma distribuição normal. Diante disso, adotou-se o coeficiente de correlação de *Spearman*, uma vez que o método de Pearson pressupõe normalidade dos dados.

Para aprofundar a análise das relações entre os parâmetros, foi calculada a correlação de *Spearman* ( $\rho$ ). As matrizes de correlação foram obtidas separadamente para cada pista (PPD 1, PPD 2 e PPD 3). A Figura 2 apresenta os resultados da matriz de correlação da PPD 1. Devido à presença de *grooving* nessa pista, não há dados disponíveis de macrotextura. As Figuras 3 e 4 exibem,

respectivamente, as matrizes de correlação das PPDs 2 e 3, sendo que esta última também não possui medições de macrotextura pela mesma razão.

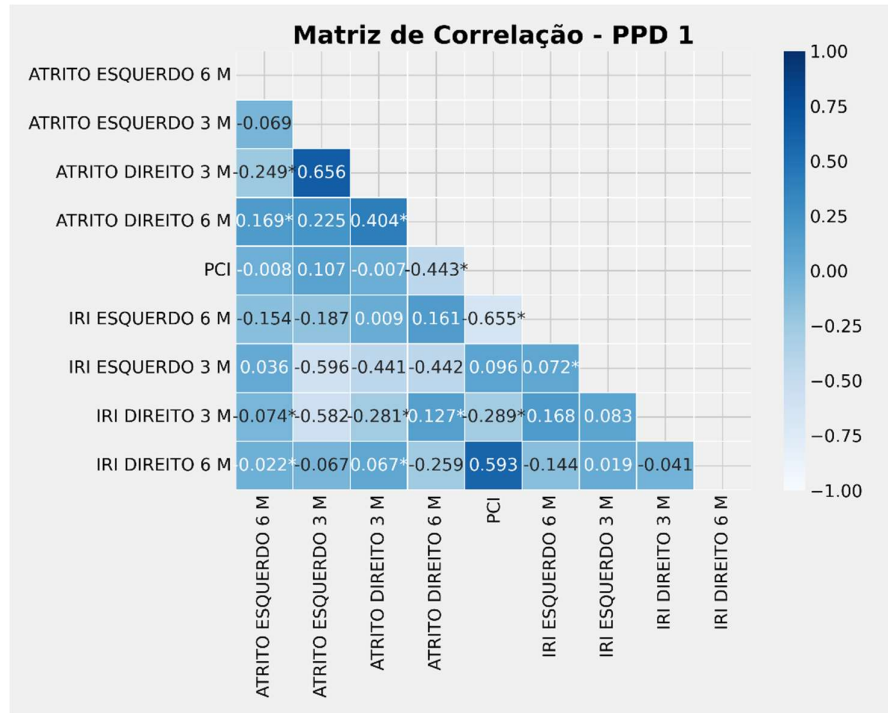


Figura 2: Matriz de correlação da PPD 1.

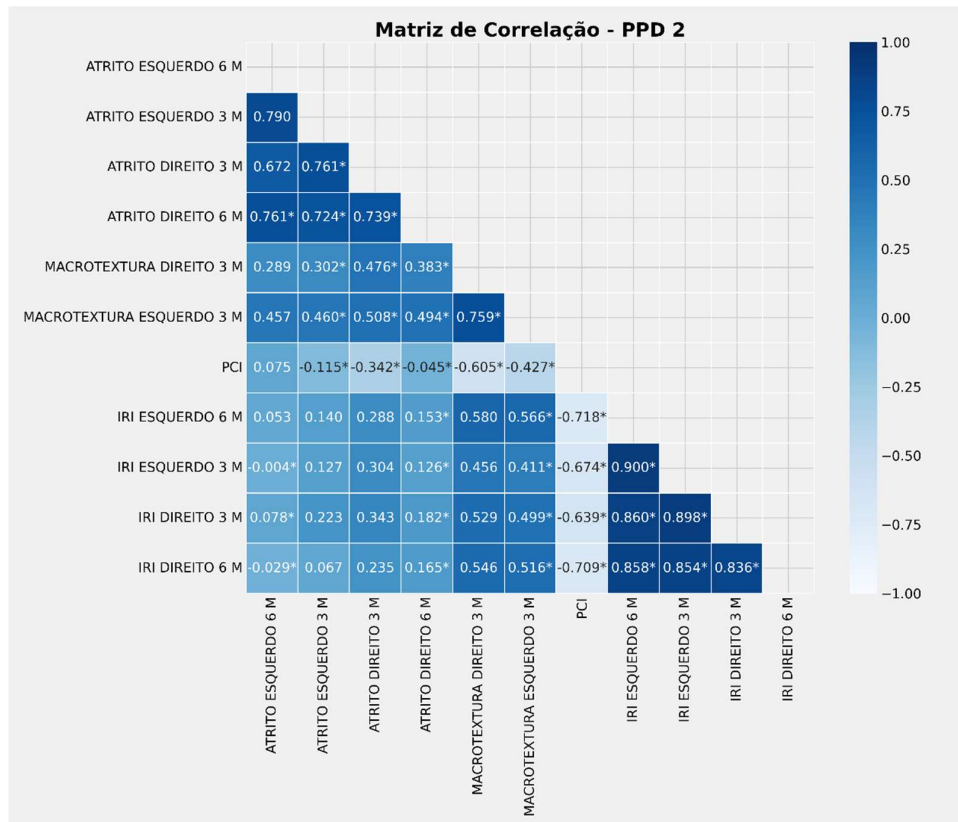
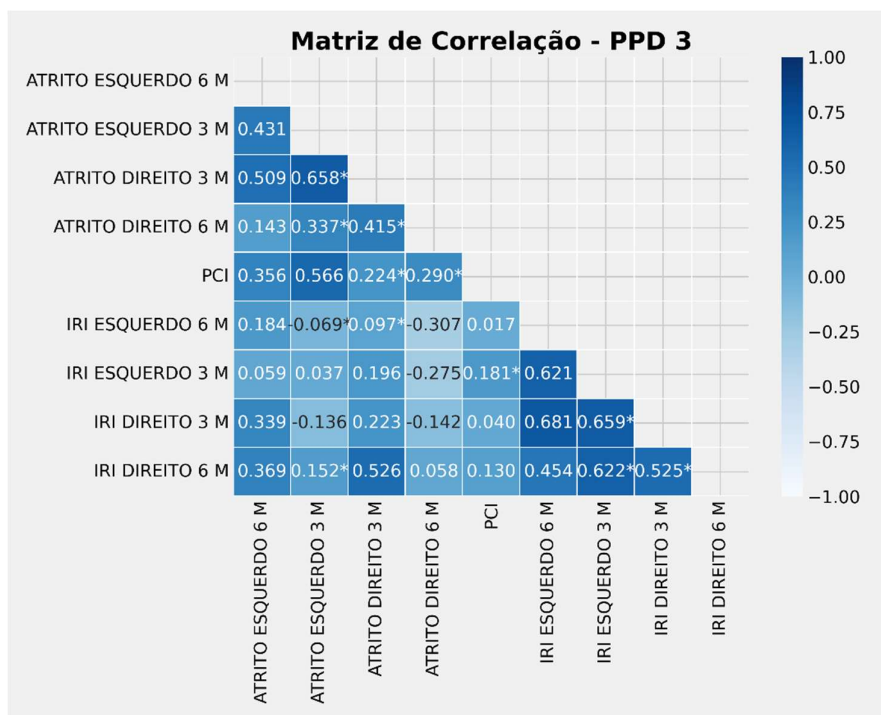


Figura 3: Matriz de correlação da PPD 2.



**Figura 4:** Matriz de correlação da PPD 3.

Conforme os resultados da PPD 1 (Figura 2), o maior  $\rho$  entre diferentes parâmetros foi observado entre o PCI e o IRI medido a 6 m do lado direito (0,593). No entanto, essa correlação não foi estatisticamente significativa ao nível de 5%. O maior valor de  $\rho$  estatisticamente significativo foi de 0,127, entre o IRI medido a 3 m do lado direito e o coeficiente de atrito medido a 6 m do mesmo lado. Em relação às correlações negativas, o menor valor foi de -0,655 entre o PCI e o IRI medido a 6 m do lado esquerdo, sendo este estatisticamente significativo. Também foram observados  $\rho$  de -0,596 e -0,582 entre o IRI e o coeficiente de atrito, embora essas correlações não tenham alcançado significância estatística.

Com relação à PPD 2 (Figura 3), o maior  $\rho$  entre diferentes parâmetros foi de 0,580, observado entre o IRI medido a 6 m do lado esquerdo e a macrotextura medida a 3 m do lado direito; contudo, esse valor não foi estatisticamente significativo. O segundo maior  $\rho$ , de 0,566, entre o IRI e a macrotextura ambos medidos a 3 m do lado esquerdo, apresentou significância estatística. A menor correlação (-0,717) foi identificada entre o IRI medido a 6 m do lado esquerdo e o PCI, sendo essa relação estatisticamente significativa. Observa-se que as correlações entre IRI e PCI são significativas e evidenciam uma relação inversamente proporcional. Por sua vez, as correlações entre o PCI e os demais parâmetros também tendem a ser negativas e, em alguns casos, significativas, embora com menor magnitude.

Na matriz de correlação da PPD 3 (Figura 4), o maior  $\rho$  entre diferentes parâmetros foi de 0,566, observado entre o PCI e o coeficiente de atrito medido a 3 m do lado esquerdo; entretanto, esse resultado não apresentou significância estatística. O maior  $\rho$  significativo foi de 0,290, entre o PCI e o coeficiente de atrito medido a 6 m do lado direito. Por outro lado, o menor  $\rho$  significativo foi de -0,069, entre o IRI medido a 6 m do lado esquerdo e o coeficiente de atrito medido a 3 m do lado esquerdo. De modo geral, não foram observadas correlações consistentes entre os diferentes parâmetros. Ressalta-se, no entanto, que todos os coeficientes  $\rho$  entre o PCI e os demais parâmetros apresentaram valores positivos.

De modo geral, não foram observadas correlações relevantes e significativas entre os parâmetros na PPD 1, indicando que nenhum indicador isolado é capaz de representar adequadamente a condição global dessa pista. Na PPD 2, por outro lado, verificam-se correlações mais expressivas, especialmente entre o IRI e o PCI. Ainda assim, os parâmetros associados à resistência à derrapagem, em especial o coeficiente de atrito, não são suficientemente explicados apenas com base no IRI ou no PCI. Isso evidencia que a análise exclusiva da condição funcional não é suficiente para representar de forma abrangente o estado da PPD 2. Quanto à PPD 3, os resultados também indicam que o uso de um único índice não é capaz de refletir, de maneira satisfatória, a condição global da pista.

## 5 CONCLUSÃO

Nesta pesquisa foram analisadas as correlações entre as variáveis das condições de resistência à derrapagem, representadas pelo coeficiente de atrito e pela macrotextura, e funcionais, representadas pelo IRI e pelo PCI, da PPD. A partir dos resultados, foi possível concluir que, em geral, não há correlações significativas entre as variáveis, com algumas exceções, como entre o IRI e o PCI nas PPD 1 e 2. Portanto, o emprego de apenas uma única variável não foi capaz de representar, de maneira satisfatória, a condição global da PPD em nenhuma das três pistas analisadas.

Dessa forma, é importante considerar o emprego da maior quantidade possível de variáveis na tomada de decisão no que diz respeito a estratégias de M&R. Isso se deve ao fato da relevância dessas variáveis na garantia da segurança das operações de pousos e decolagens. Além disso, com o uso de mais informações, por meio de mais variáveis, pode possibilitar uma análise mais acurada da condição da superfície da pista e também um balanceamento da importância de cada uma delas.

## 6 REFERÊNCIAS

- ANAC. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC) N° 153 Emenda N° 07 - Aeródromos - Operação, Manutenção e Resposta à Emergência. 2023. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/>. Acesso em 11/06/2024.
- ANAC. Manual de Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários – SGPA. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/centrais-de-conteudo/aeroportos-e-aerodromos/manuais-e-cartilhas/manual-para-sgpa-v3.pdf/view>. Acesso em 25/07/2024.
- ASTM. Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys. 2020. ASTM D5340-20.
- Bernucci, L. L. B.; Motta, L. M. G. D.; Ceratti, J. A. P.; Soares, J. B. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. [S. l.]: Petrobrás, 2008.
- FAA. Advisory Circular 150/5320-12C: Measurement, Construction, and Maintenance of Skid-Resistant Airport Pavement Surfaces. 1997. Disponível em: [https://www.faa.gov/airports/resources/advisory\\_circulars/index.cfm/go/document.information/documentnumber/150\\_5320-12c](https://www.faa.gov/airports/resources/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentnumber/150_5320-12c). Acesso em 11/06/2024
- FAA. Advisory Circular 150/5380-7B Airport Pavement Management Program (PMP). 2014a. Disponível em: [https://www.faa.gov/regulations\\_policies/advisory\\_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/1026086](https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/1026086). Acesso em 25/07/2024.
- FAA. Advisory Circular 150/5380-6C: Guidelines and Procedures for Maintenance of Airport Pavements. 2014b. Disponível em: [https://www.faa.gov/regulations\\_policies/advisory\\_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/1026067](https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/1026067). Acesso em 20/07/2024.

- Henry, J. J. Evaluation of Pavement Friction Characteristics: A Synthesis of Highway Practice. Washington, D.C.: *Transportation Research Board*, 2000. (NCHRP Synthesis 291). ISBN 0309068734. Disponível em: <https://trid.trb.org/View/675639>.
- Kogbara, R. B.; Masad, E. A.; Kassem, E.; Scarpas, A. T.; Anupam, K. A state-of-the-art review of parameters influencing measurement and modeling of skid resistance of asphalt pavements. *Construction and Building Materials*, v. 114, p. 602–617, 2016. ISSN 0950-0618. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816305347>.
- Li, J.; Zhang, Z.; Wang, X.; Yan, W. Intelligent decision-making model in preventive maintenance of asphalt pavement based on pso-gru neural network. *Advanced Engineering Informatics*, v. 51, p. 101525, 2022. ISSN 1474-0346. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034622000015>.
- Li, S.; G.Z.; Jiang, Y.; Wells, T. Establishment of benchmarks for life-cycle friction performance of pavement preservation treatments. In: *Transportation Research Board 97th Annual Meeting*. Washington D.C.: [S. n.], 2018. p. 15p.
- Liu, Y.; Wang, R.; Wan, T. A method determining critical operating parameters for landing aircraft based on runway pavement skid resistance. *International Journal of Pavement Engineering*, Taylor & Francis, v. 25, n. 1, p. 2346286, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10298436.2024.2346286>.
- Masad, E.; Rezaei, A.; Chowdhury, A.; Freeman, T. J. Field evaluation of asphalt mixture skid resistance and its relationship to aggregate characteristics. [S. l.], 2010.
- MúCkA, P. International roughness index specifications around the world. *Road Materials and Pavement Design*, Taylor & Francis, v. 18, n. 4, p. 929–965, 2017.
- Niu, Y.; Zhang, S.; Tian, G.; Zhu, H.; Zhou, W. Estimation for runway friction coefficient based on multi-sensor information fusion and model correlation. *Sensors*, v. 20, n. 14, 2020. ISSN 1424–8220. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/14/3886>.
- Sayers, M. W.; Gillespie, T. D.; Queiroz, C. A. The international road roughness experiment: Establishing correlation and a calibration standard for measurements. [S. l.], 1986.
- Sayers, M. W.; Karamihas, S. M. *The Little Book of Profiling: Basic Information About Measuring and Interpreting Road Profiles*. Ann Arbor, 1998. Disponível em: <https://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/21605>.
- Shahin, M. Y. *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots*. 2nd. ed. [S. l.]: Springer, 2005.
- Tedeschi, A.; Benedetto, F. A real-time automatic pavement crack and pothole recognition system for mobile android-based devices. *Advanced Engineering Informatics*, v. 32, p. 11–25, 2017. ISSN 1474-0346. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474034616301197>.
- Xu, S.; Liu, Q.; Bo, Y.; Chen, Z.; Wang, C. Estimating the international roughness index of asphalt concrete pavement by response-based testing equipment and intelligent algorithms. *Construction and Building Materials*, v. 433, p. 136659, 2024. ISSN 0950-0618. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061824018002>.
- Yu, M.; You, Z.; Wu, G.; Kong, L.; Liu, C.; Gao, J. Measurement and modeling of skid resistance of asphalt pavement: A review. *Construction and Building Materials*, v. 260, p. 119878, 2020. ISSN 0950-0618. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820318833>.