

## UM MÉTODO DE APOIO À GESTÃO PARA ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE ADERÊNCIA EM PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

ALDAIANNY DE OLIVEIRA MAIA<sup>1</sup>, FRANCISCO HEBER LACERDA DE OLIVEIRA<sup>1</sup>,  
CARLOS AUGUSTO UCHÔA DA SILVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Ceará - UFC  
<aldaianymaia@det.ufc.br>, <heber@det.ufc.br>, <uchoa@det.ufc.br>  
10.21439/conexoes.v17i0.2905

**Resumo.** Em termos do gerenciamento eficiente das condições de aderência dos pavimentos aeroportuários brasileiros, a inexistência de uma adequada organização e compreensão dos dados coletados, com vistas à obtenção de informações precisas e confiáveis, ainda é uma dificuldade a ser superada. Diante disso, o objetivo deste estudo é analisar os dados disponíveis das condições de aderência, em pistas de pouso e decolagem de pavimentos aeroportuários nacionais. Realizou-se um estudo de caso, usando-se dados de três pistas de pouso e decolagem (PPD) de diferentes aeroportos. Iniciou-se com uma investigação preliminar dos dados existentes, com recorte temporal de 2015 e 2021. A escolha dos aeroportos ocorreu mediante sua espacialização no território brasileiro e, da quantidade de relatórios disponíveis. Usou-se diferentes técnicas estatísticas e de análise visual para uma melhor compreensão e visualização das informações. Para as PPD avaliadas os dados de coeficiente de atrito tiveram maior homogeneidade, com menores coeficientes de variação, em relação à macrotextura, fato que pode estar relacionado à forma de execução do ensaio utilizado para a obtenção da macrotextura. Com base na distribuição dos dados e a alta quantidade de valores extremos (*outliers*), considera-se que a mediana pode representar melhor os dados de aderência. Assim, a reestruturação do banco de dados possibilitou a criação de um *Dashboard* e, a consequente visualização das informações para o período considerado. Portanto, a adequada sistematização permitiu uma melhor compreensão dos dados disponíveis, de modo a auxiliar no processo de tomada de decisão, quanto às atividades de fiscalização, regulação e manutenção dos pavimentos aeroportuários.

**Palavras-chaves:** PPD. Coeficiente de atrito. Macrotextura. Estruturação de dados.

## A MANAGEMENT SUPPORT METHOD TO ANALYZE ADHERENCE CONDITIONS ON AIRPORT PAVEMENTS

**Abstract.** In terms of efficient management of adherence conditions in Brazilian airport pavements, the lack of adequate organization and comprehension of the collected data to obtain accurate and reliable information is still difficulty to overcome. Therefore, this study aims to analyze the available data on the adherence conditions on runways of Brazilian airport pavements. A case study was conducted using data from three runways at different airports. We started with a preliminary investigation of the existing data, with a time frame of 2015 and 2021. The choice of airports was based on their spatialization in the Brazilian territory and the number of reports available. Different statistical techniques and visual analysis were used to understand and visualization the information. For the evaluated PPDs, the friction coefficient data were more homogeneous, with lower coefficients of variation, about the macrotexture results that may be related to the way of execution of the test used to obtain the macrotexture. Based on the data distribution and the high quantity of extreme values (*outliers*), it is considered that the median may better represent the adherence data. Thus, the restructuring of the database allowed the creation of a Dashboard and the consequent visualization of the information for the period considered. Therefore, the appropriate systematization allowed a better understanding of the available data to assist in the decision-making process regarding activities of surveillance, regulation, and maintenance of airport pavements.

**Keywords:** Runway. Coefficient of friction. Macrotexture. Data structuring.

## 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O desenvolvimento da sociedade, principalmente ao final do século XX, destacou a necessidade de deslocamentos mais rápidos e eficientes, e evidenciou o uso do transporte aéreo como uma alternativa mais efetiva na locomoção de pessoas e mercadorias. De acordo com ANAC (2022), o Brasil apresentou, entre 2017 e 2019, aumento no número de passageiros pagos transportados, que alcançou em 2019 o valor de 119,2 milhões.

Desse modo, destaca-se a importância das condições de segurança operacional da infraestrutura aeroportuária, assim como a aplicação de Sistemas de Gerência de Pavimentos Aeroportuários (SGPA), conforme ANAC (2021), principalmente em aeroportos com grandes quantidades de operações, como uma ferramenta essencial para a garantia da segurança de pousos e decolagens. O SGPA evidencia, ainda, a importância da existência de dados acessíveis como um fator relevante para o adequado monitoramento dos pavimentos.

Nesse sentido, Mota, Oliveira e Aguiar (2016) analisaram as condições estruturais, funcionais e de aderência dos pavimentos aeroportuários e perceberam que as condições de aderência foram classificadas como as mais importantes. Ismail, Ismail e Rahmat (2009), por sua vez, perceberam que a avaliação da condição da superfície de um pavimento fornece informações necessárias à sua manutenção, além de destacar que a segurança contra derrapagem é mantida quando as condições de aderência estão em níveis adequados.

Haas, Hudson e Zaniewski (1994) afirmam que o banco de dados é o atributo central de um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP), de modo que este deve possuir todas as informações necessárias para apoiar decisões, além das de Manutenção e Reabilitação (M&R). Os autores destacam que apesar de a coleta de dados ser um componente necessário para o SGP, apenas a existência dos dados não é adequada, de maneira que somente pela sua análise e aplicação é possível beneficiar-se do SGP.

Nesse sentido, Mascio e Moretti (2019) indicaram que a implantação do SGPA tem como uma das principais vantagens a criação de um banco de dados digital. O estudo aponta que o banco de dados é fundamental para organizar, guardar e possibilitar a consulta de informações das condições dos pavimentos aeroportuários, auxiliar na seleção e otimização das escolhas das atividades de M&R conforme os recursos existentes, dentre outros.

O monitoramento das informações, por meio de uma ferramenta visual de gestão, com melhor clareza para fins de caracterização e análise dos dados, é uma

alternativa para um gerenciamento mais adequado dos pavimentos aeroportuários. Assim, os usuários interessados tais como operadores de aeródromos, empresas aéreas, autoridades governamentais ou entidades de pesquisas, podem ter uma compreensão mais global da condição das pistas de pouso e decolagem (PPD) de interesse. A partir disso, se possibilita a ideia de um panorama geral de cada PPD, que seja capaz de facilitar o processo de tomada de decisão de fiscalização ou definição de atividades de M&R.

No Brasil, a ausência de uma sistematização apropriada dos dados relativos às condições funcionais, estruturais e de aderência dos pavimentos aeroportuários, dificulta a extração de informações que permita suas caracterização e análise de maneira satisfatória. Tal fato, provavelmente, está relacionado a possíveis falhas organizacionais (administrativas e operacionais) existentes nos processos, ou na integração das fases de coleta, armazenamento e disponibilidade desses dados, sendo um obstáculo na apropriada gestão de tais estruturas.

Dessa forma, este trabalho tem como principal objetivo analisar a caracterização dos dados disponíveis das condições de aderência, em pistas de pouso e decolagem de pavimentos aeroportuários brasileiros. E assim, possibilitar o desenvolvimento de uma ferramenta visual de gestão para facilitar o uso das informações disponíveis.

## 2 AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ADERÊNCIA

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) é o órgão regulador federal nas atividades de normatização e supervisão da aviação civil brasileira. Nesse sentido, a ANAC (2021) determina um conjunto de condutas, acerca das condições dos aeródromos, que devem ser verificados e documentados referentes à sua manutenção e garantia dos níveis de serviço. A ANAC (2021) indica procedimentos que devem ser realizados para a manutenção das condições estruturais, funcionais e de aderência dos pavimentos aeroportuários.

(MIAH et al., 2020) apresentaram os parâmetros mais utilizados para a avaliação dos pavimentos para aeroportos dos EUA, Roma, Austrália e Japão, com base em estudos de casos. Os autores observaram que a seleção do software para a implementação de SGPA depende da necessidade e do recurso disponível para o seu desenvolvimento ou aquisição, indicando diferentes ferramentas que podem ser aplicadas. O estudo evidenciou que ao contrário do SGP para rodovias, a literatura sobre SGPA em todo o mundo é limitada, existindo poucas publicações relacionadas com a deterioração do pavimento aeroportuário.

O levantamento de informações por meio de uma revisão sistemática da literatura sobre pesquisas e contribuições relevantes das metodologias utilizadas na avaliação das condições do pavimento aeroportuário, modelos de previsão de desempenho e variáveis que precisam ser monitoradas foi realizado por Moura et al. (2021). Os autores destacaram como uma das principais limitações nos estudos, o fato da subjetividade envolvida nas análises, encontrada em algumas metodologias que utilizam a abordagem MCDA (*Multiple Criteria Decision Analysis*) ou modelagem estocástica, e que caracterizam incertezas no gerenciamento de pavimentos. Constataram também que, em geral, as conclusões dos estudos sugerem a necessidade de pesquisas que incluam novos dados, eficiência na manipulação de informações e o uso de ferramentas adequadas para coletar os parâmetros das condições dos pavimentos.

Nesse sentido, Niu et al. (2020) afirmaram que, para a segurança das operações, é necessário que haja um adequado monitoramento e manutenção das condições de atrito da pista de pouso e decolagem. Os autores destacam a existência de fatores relacionados aos pavimentos que influenciam nas características do parâmetro como: tipo de pavimento, textura superficial, resistência ao polimento da superfície, temperatura, presença de contaminantes, presença de ranhuras transversais (grooving), dentre outros.

A deterioração da textura superficial do pavimento pode ser associada à ocorrência das cargas periódicas e recorrentes das aeronaves e aos efeitos ambientais durante sua vida útil. Ademais, a existência de más condições de aderência, associadas à situação de pavimento molhado, representa o estado mais crítico para eventos capazes de resultarem em acidentes em pistas de pouso e decolagem (CHEN et al., 2008; ZHU et al., 2021).

Chen et al. (2008) analisaram as variações do coeficiente de atrito e da macrotextura do pavimento, além da análise de depósito de borracha por meio de coleta de amostra para avaliação microscópica. Os autores perceberam que o depósito de borracha na pista teve influência na redução do valor de atrito medido, de modo que houve um decréscimo com uma taxa de 0,05 de atrito a cada aumento de 0,1 mm na espessura do depósito de borracha.

Ainda Chen et al. (2008) perceberam maiores acúmulos de borracha e, conseqüentemente, menor valor de atrito nas zonas de toque, a 3 m do eixo. Os autores perceberam que o valor da macrotextura foi positivamente relacionado ao valor de atrito obtido para o pavimento. Em concordância, De Luca et al. (2016) constataram que os valores de atrito foram menores nas cabeceiras em relação à parte central da pista, e ainda,

que os dados de atrito para a cabeceira predominante foram inferiores quando comparados com a cabeceira com menor número de pousos. Os autores indicaram que após a remoção de borracha houve aumento nos valores de atrito.

Nesse sentido, Sales, Oliveira e Prado (2022) avaliaram as condições de aderência de modo a analisar sua influência no processo de remoção de borracha das PPD de 3 aeroportos brasileiros. Cada PPD possuía diferentes camadas de revestimento, sendo o primeiro de concreto asfáltico, o segundo com a presença de grooving e o terceiro de Camada Porosa de Atrito (CPA). Os autores perceberam que a atividade de remoção de borracha é eficiente na manutenção das condições de aderência dos pavimentos, mas que não é associada à aumentos significativos nos valores de coeficiente de atrito e macrotextura.

Posteriormente, Maia, Sales e Oliveira (2022) analisaram as condições de aderência de uma pista de pouso e decolagem brasileira antes e após obra de reabilitação e construção de novo revestimento. Os autores perceberam que a macrotextura não teve melhorias no sentido de incremento em seus valores, em contrapartida para os dados de coeficiente de atrito notou-se que houve oscilação no intervalo do parâmetro após a finalização da obra com necessidade de aproximadamente 5 meses até sua estabilização.

### 3 ESTUDO DE CASO

#### 3.1 Coleta dos dados

Mediante os dados nacionais existentes e disponíveis, optou-se pela análise das condições de aderência de três pistas de pouso e decolagem brasileiras, em distintas regiões do país, por meio dos relatórios de medições do coeficiente de atrito e da macrotextura, entre os anos de 2015 e 2021. A seleção dos aeroportos para este estudo ocorreu em função da quantidade de informações existentes para as pistas de pouso e decolagem consideradas.

O Aeroporto A está localizado na região Nordeste. A sua PPD possui 3.003 m de comprimento e 45 m de largura, e revestimento em Concreto Asfáltico, com presença de grooving em 700 m da PPD, a partir da cabeceira predominante, conforme informações dos relatórios datados entre os anos de 2015 e julho de 2019. A partir do segundo semestre de 2019, foram realizadas obras de recapeamento da PPD em análise, e com isso, o grooving foi removido do revestimento.

Para a região Norte do país escolheu-se o Aeroporto B. A PPD de análise possui 2.800 m de comprimento por 45 m de largura e revestimento em Concreto Asfál-

tico, com presença de grooving em 1.000 a partir de 430 m da cabeceira predominante, conforme relatórios datados entre agosto de 2015 e setembro de 2021. A PPD do Aeroporto B passou por recuperação total do pavimento em 2021, de modo que a partir de novembro de 2021 contava com grooving em todo seu comprimento.

O Aeroporto C está localizado na região Sul do Brasil e sua PPD durante o período analisado possuía 2.280 m de comprimento por 45 m de largura. A PPD possui revestimento em Concreto Asfáltico com presença parcial de grooving em 2.080 m a partir de 100 m da cabeceira predominante, conforme relatórios entre o período de agosto de 2015 até outubro de 2021.

### 3.2 Estruturação dos dados

A condição na qual os relatórios encontram-se atualmente, denota que não existe uma padronização quanto à nomeação de arquivos, o que pode ocasionar dificuldades na identificação automatizada do tipo de relatório, sobretudo, quando se considera a quantidade de arquivos existentes, ou ainda, sua duplicação. Assim, a designação de chaves primárias é uma das características do banco de dados que foi empregada para a obtenção de informações mais confiáveis e consistentes.

Optou-se então por utilizar a chave proposta por Gonçalves (2021), que contém informações básicas necessárias para a identificação de cada relatório. Cada chave é composta pelo código ICAO, numeração da PPD, tipo de relatório e data de medição. Assim, a chave para identificação para um relatório de coeficiente de atrito (ATR), obtido a partir de levantamento no Aeroporto B (SBAB), na pista de pouso e decolagem XX/YY com data de medição em 11/12/2019 é: SBABXXYYATR191211. Desse modo, cada arquivo de relatório é único e contém apenas a informação relativa à sua chave identificadora, e assim, possibilita seu acesso de forma mais fácil e prática.

Para fins de organização e digitação dos dados, optou-se pelo formato tabular e considerou-se a definição dos atributos baseada nas informações contidas nos relatórios. Assim, cada linha contém um registro único para o banco de dados, associada a cada um dos atributos previamente definidos. Destaca-se que foi realizado o georreferenciamento para cada registro, e com isso a possibilidade em transformá-lo, posteriormente, em um banco de dados relacional dentro de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

### 3.3 Análise das condições de aderência

Para esta etapa utilizou-se os softwares: Excel pertencente ao pacote Office 365, QGIS 3.22.16 e o Jupyter

Notebook versão 6.4.5, que utiliza a linguagem de programação e biblioteca disponíveis em Python 3. O Excel foi utilizado para a organização dos dados, enquanto software de SIG Quantum GIS, versão 3.22.16 foi utilizado para o georreferenciamento dos pontos ao longo da PPD para os dados coletados. Por meio do Jupyter Notebook foi possível realizar a análise estatística e gráfica para os dados dos aeroportos selecionados pelas bibliotecas: Pandas e Seaborn, respectivamente. Além disso, o Jupyter Notebook foi utilizado para desenvolver a ferramenta de gestão visual a partir da biblioteca Dash do Python.

Realizou-se uma análise estatística exploratória dos dados, de modo a se obter as medidas de tendência central e dispersão para cada um dos parâmetros avaliados e, também, investigar os possíveis comportamentos para cada conjunto de dados. Para a segmentação em terços o comprimento total da PPD foi igualmente dividido em 3 partes.

Os dados para a análise foram agrupados conforme o interesse de cada investigação: por data de medição, por ano, por aeroporto, por tipo de variável, por lado. Por exemplo, para a criação dos gráficos boxplots utilizou-se a segmentação dos dados por tipo de variável, segmentação da PPD, lado e data de medição, de modo que fosse possível observar diferenças e possíveis tendências dependentes de tais agrupamentos, assim como a presença de outliers e o formato de distribuição dos dados.

A análise visual dispõe de maneiras gráficas para transformar as informações detalhadas anteriormente, por meio da análise estatística em condição mais simples, sobretudo para aqueles que não possuem maior familiaridade com as análises. Assim, pode-se, de maneira geral, avaliar comportamentos específicos fornecidos pela visualização gráfica.

Para a análise da série histórica dos dados, optou-se pela organização visual do resumo das informações, consideradas relevantes, e capazes de auxiliar no acompanhamento das condições de aderência da pista de pouso e decolagem analisada. Para tanto, optou-se pela elaboração de um Dashboard que contivesse informações tais como: perfis da pista a depender da variável para os anos analisados, mapa cloroplético, média, mediana e coeficiente de variação dos dados por terço de pista, indicação da condição da PPD e gráfico boxplot para visualização da distribuição dos dados por data de medição.

A escolha da biblioteca para o desenvolvimento do Dashboard justifica-se por ser de código aberto e permitir maior interatividade gráfica, pois utiliza gráficos criados a partir da biblioteca Plotly do Python. Além

disso, os aplicativos criados a partir da biblioteca Dash são renderizados no navegador de Internet e facilita a posterior indexação e compartilhamento por páginas Uniform Resource Locator (URLs).

A ferramenta proposta é capaz de auxiliar na observação e utilização prática dos dados obtidos a partir dos levantamentos feitos em pavimentos aeroportuários pelos operadores de aeródromos e pela autoridade de aviação civil. A partir da integração com o banco de dados e a inserção de novas informações a ferramenta facilita a visualização dos dados para fins de tomada de decisão quanto à fiscalização das PPD ou atividades de M&R.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentadas tanto a caracterização, quanto uma análise estatística descritiva dos dados, contendo gráficos e imagens que possibilitam a compreensão das informações, assim como uma proposta para sua sistematização. Visto que a adequada estruturação dos dados atua como ferramenta capaz de auxiliar no processo de tomada de decisão para fins de fiscalização ou definição de atividade de M&R pela evolução temporal das informações.

### 4.1 Caracterização e Análise dos dados

Quanto à organização e estruturação dos dados disponíveis, observou-se que todos os relatórios para os aeroportos analisados encontravam-se, integralmente, no formato PDF. Todos os relatórios do período considerado foram tabulados para compor a base de dados. Além disso, os arquivos em PDF com disponibilidade para seleção de texto representavam apenas 49,5% para os relatórios de coeficiente de atrito e cerca de 41,7% para os de macrotextura, enquanto os percentuais complementares eram no formato de imagem.

Notou-se que a compreensão de alguns documentos foi prejudicada pela existência de contaminações ou ruídos nos arquivos, como manchas e riscos, que se devem, principalmente, ao seu processo de digitalização, principalmente para os arquivos no formato de imagem. Diante disso, o processo de extração das informações desse tipo de relatório é dificultado, seja de forma manual ou automatizada, com a utilização de alguma ferramenta computacional.

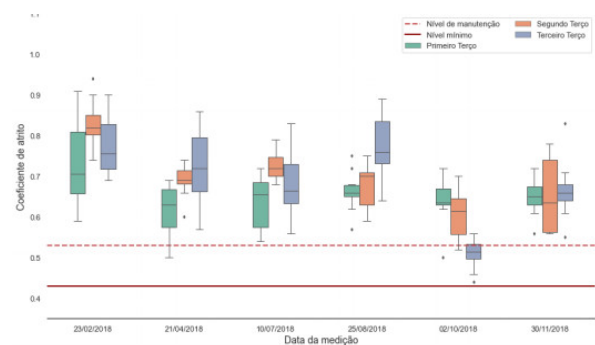
A dificuldade na etapa de extração de dados também foi investigada por Gonçalves (2021), que reestruturou as informações contidas em relatórios de aderência com o auxílio do Tesseract OCR, um software de Reconhecimento Óptico de Caracteres. O autor percebeu a ocorrência de alta variabilidade no índice de acertos para a leitura dos relatórios principalmente pela condição em

que os relatórios eram obtidos. Dessa forma, a extração dos dados de forma manual ainda é a mais eficiente nas atuais condições.

A discretização das variáveis analisadas por trechos possibilita uma melhor análise e compreensão do fenômeno ao longo da PPD, capaz de permitir direcionamento de recursos humanos e materiais mais adequado, para os trechos que possuem as piores condições de aderência. Analisou-se, então, a segmentação por terço da PPD por ser comum no relatório de valores da medição de macrotextura e ter como primeiro terço a região que corresponde parcialmente à zona de toque da cabeceira predominante, o segundo terço não ser tão solicitado durante as operações de pouso e decolagem e o terceiro terço representar a zona de toque da cabeceira não predominante.

A distribuição do coeficiente de atrito medido a 3 m do eixo, separados por terço de pista e data de medição para o período analisado apresenta variações cíclicas, com redução ou incremento em seu valor, com o passar do tempo. No geral, os dados possuem alta dispersão por data de medição, indicadas pela amplitude interquartilica dos gráficos boxplots obtidos, como exposto no exemplo da Figura 1 para o ano de 2018 e lado esquerdo da PPD do Aeroporto A.

**Figura 1:** Coeficiente de atrito a 3 m por terço de pista em 2018 (lado esquerdo) – PPD Aeroporto A.



A assimetria indicada nos gráficos boxplots indica que a mediana pode ser mais adequada para representar o conjunto de dados, enquanto medida de tendência central, haja vista que a presença de outliers, devido à dispersão dos dados, pode ocasionar resultados equivocados quando se considera a média. Ademais, observou-se que o lado esquerdo, em geral, tende a possuir dados mais homogêneos que o lado direito.

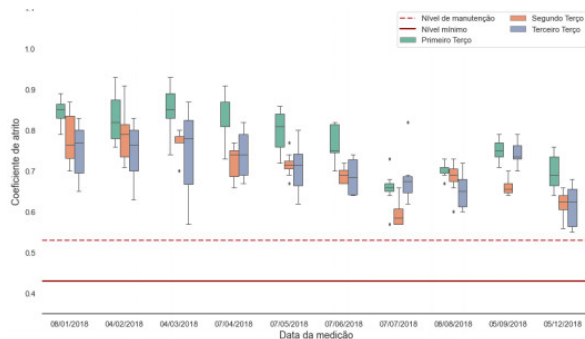
Com base nas datas de remoção do acúmulo de borraça informadas nos relatórios, notou-se que a distribuição dos dados visualizadas por meio de gráficos boxplots não evidenciou o processo de remoção de borra-

cha como forma de aumentar os valores em todos os levantamentos. Apesar de, alguns estudos, como Sales, Oliveira e Prado (2022), Quariguasi et al. (2019), apontarem o processo de remoção de borracha como atividade responsável pela melhoria nos valores médios da variável.

Os valores de tendência central sugerem que o coeficiente de atrito é menor para o primeiro terço da PPD. Conforme observado por Chen et al. (2008), Luca et al. (2016), acredita-se que os menores valores do parâmetro do primeiro terço podem ser associados ao maior desgaste da superfície dos agregados e, ainda, ao processo de acúmulo de borracha devidos, sobretudo, as operações de pouso na zona de toque da PPD.

Diferente do verificado para o coeficiente de atrito medido a 3 m, na medição realizada a 6 m do eixo os valores médios para o primeiro terço nem sempre são os que apresentam os menores valores da variável. A distribuição dos dados mostra a sua variabilidade, indicadas, sobretudo, pela distância entre o primeiro e o terceiro quartil dos gráficos boxplots, Figura 2.

**Figura 2:** Coeficiente de atrito a 6 m por terço de pista em 2018 (lado esquerdo) – PPD Aeroporto C.



A atividade de remoção de borracha indicou acréscimo sutis em seus valores para algumas medições, assim como o observado para o coeficiente de atrito obtido a 3 m do eixo da PPD. O segundo terço, similar ao obtidos na análise de 3 m evidencia os maiores valores médios do levantamento. O comportamento do coeficiente de atrito a 6 m do eixo da PPD apresenta curvas e comportamentos diferentes daqueles observados para os dados obtidos a 3 m do eixo.

A análise da distribuição dos valores de macrotextura para o período considerado indica maior variabilidade da variável em relação ao coeficiente de atrito. Os maiores valores de coeficiente de variação obtidos para a macrotextura podem ser associados às questões inerentes ao ensaio que dependem do operador, condições climáticas e ao fato de ser mais susceptível ao erro em

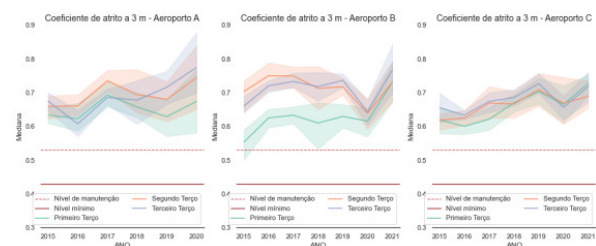
relação a medições automatizadas.

## 4.2 Análise comparativa entre as PPD analisadas

Com base nas análises individuais foi possível identificar para as três PPD analisadas a existência de outliers nos valores das condições de aderência. A presença de valores extremos nos conjuntos de dados pode ocasionar interpretações equivocadas quando se considera apenas a média amostral, por exemplo. Para este estudo não se realizou nenhum tratamento de outliers, pois não há garantia de que tais dados tenham sido obtidos por erro de inserção nos relatórios.

Os valores médios anuais da mediana para o coeficiente de atrito a 3 m do eixo da PPD de todos os aeroportos (Figura 3), indicam que houve maior dispersão dos dados em 2019 e 2020, indicados pela amplitude do intervalo de confiança, para o Aeroporto A em relação aos outros dois aeroportos. Além disso, é comum observar para as três PPD que o primeiro terço tende a possuir menores valores do parâmetro. Contudo, para o Aeroporto B até o ano de 2020 os valores obtidos para o primeiro terço foram significativamente menores em relação aos outros terços.

**Figura 3:** Mediana do coeficiente de atrito a 3 m para todas as PPD.

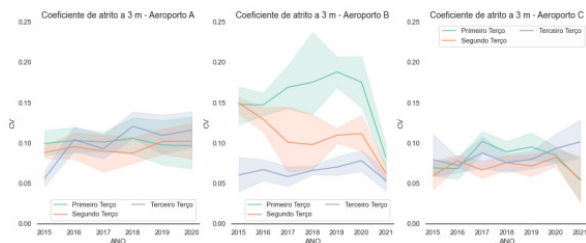


Nota-se que é comum a identificação de variações cíclicas em que ocorre redução ou aumento nos valores do parâmetro ao longo dos anos. Quariguasi et al. (2019) analisaram o coeficiente de atrito para um pavimento de Camada Porosa de Atrito (CPA) e identificaram que para o período houve variações cíclicas que os autores associaram à remoção do acúmulo de borracha. O mesmo pode ter ocorrido para as três pistas analisadas, apesar de possuírem revestimento em concreto asfáltico, diferente da analisada pelo autor.

A Figura 4 apresenta o coeficiente de variação para os dados de coeficiente de atrito a 3 m para todas as PPD analisadas, de modo a facilitar sua comparação. Nota-se que a PPD do Aeroporto A e do Aeroporto C, respectivamente, apresentam CV médios anuais próximos para os terços da PPD, e sobreposição dos intervalos de confiança. No entanto, para a PPD do Aeroporto

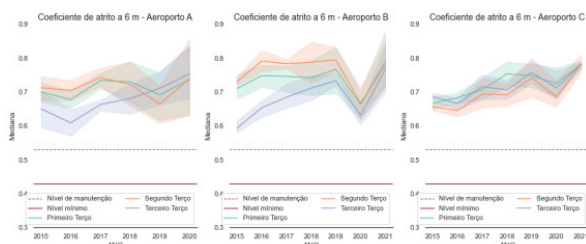
B percebe-se que o CV obtido até o ano de 2020 é maior em relação as outras pistas, principalmente para o primeiro terço que possui limite superior em 2018 próximo a 25% de variação.

**Figura 4:** Coeficiente de variação do coeficiente de atrito a 3 m para todas as PPD.



Os valores do coeficiente de atrito obtido a 6 m se apresentaram maiores que aqueles obtidos a 3 m do eixo (Figura 5). Além disso, para o parâmetro o terceiro terço foi o que apresentou menores valores para o Aeroporto A e o Aeroporto B, diferente do atrito a 3 m em que o primeiro terço foi o que possuiu menor valor para todas as PPD. A PPD do Aeroporto C, foi a que apresentou valores mais próximos entre os terços.

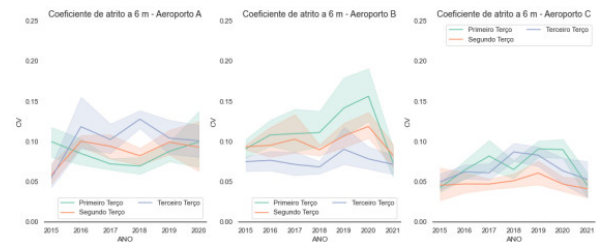
**Figura 5:** Mediana do coeficiente de atrito a 6 m para todas as PPD.



Quanto ao coeficiente de variação para o coeficiente de atrito a 6 m, Figura 6, a PPD do Aeroporto C foi a que apresentou menor variação para seus dados. Em relação ao CV da PPD do Aeroporto B notou-se redução no limite máximo do intervalo em relação à medição a 3 m, mas o primeiro terço também foi o que teve maior variação.

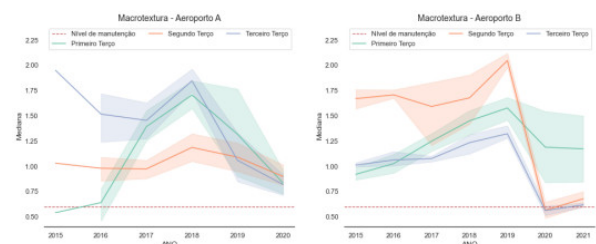
Para a macrotextura da PPD do Aeroporto A percebeu-se que o segundo terço foi o que se manteve mais estável ao longo dos anos analisados e como menor valor. Para a PPD do Aeroporto B os valores de macrotextura apresentaram crescimento, principalmente para o primeiro e terceiro terço até o ano de 2019. Para as duas pistas analisadas a macrotextura apresentou queda em seu valor para os anos em que houve atividade de recuperação do revestimento. Acredita-se que a

**Figura 6:** Coeficiente de variação do coeficiente de atrito a 6 m para todas as PPD.



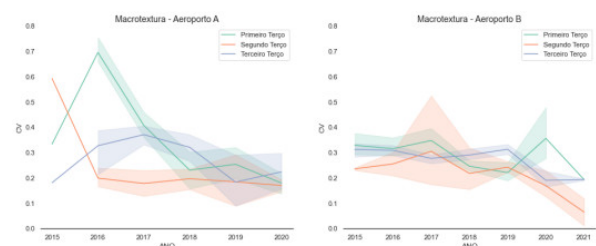
execução de um novo revestimento está relacionada ao decaimento dos valores observado. A mediana por ano pode ser vista na Figura 7.

**Figura 7:** Mediana da macrotextura para a PPD do Aeroporto A e Aeroporto B.



Quanto ao coeficiente de variação a macrotextura tende a possuir maiores valores para a medida. Na Figura 8 é possível constatar que o CV, para os dados coletados, chega próximo a 75% de variação dos dados, com base no limite superior do intervalo para o ano de 2016 da PPD do Aeroporto A. Além disso, enquanto os dados de coeficiente de atrito atingiram no máximo valores próximo a 25%, para a macrotextura foi comum valores em torno de 20% a 40% de variação.

**Figura 8:** Coeficiente de variação da macrotextura para a PPD do Aeroporto A e do Aeroporto B.



Para os anos considerados, a partir de 2017, nota-se que a variação dos dados indicadas pelo CV possui



valores próximos para as duas pistas. A alta variabilidade verificada para a macrotextura pode ser associada às questões do método da mancha de areia aplicado para a obtenção da medida. O ensaio é dependente, por exemplo, da experiência do operador, das condições climáticas existentes e pode ser responsável pela variação dos valores.

#### 4.3 Aplicação dos dados estruturados – Ferramenta visual de gestão visual

Para facilitar a compreensão dos dados obtidos e racionalizar sua utilização, de modo a possibilitar melhores estratégias para a definição de atividades de M&R ou de fiscalização do pavimento, desenvolveu-se um Dashboard com informações gráficas. O objetivo da ferramenta é que ela seja capaz de apresentar um panorama geral sobre as condições previamente selecionadas e, assim, auxiliar para o melhor aproveitamento dos dados obtidos a partir dos relatórios coletados pela ANAC.

A ideia central é que o painel esteja disponível para a agência reguladora e contemple uma rede de aeroportos, que podem ser inseridas posteriormente conforme o interesse do usuário, de modo a possibilitar o acompanhamento das informações coletadas. Além de acompanhar a série histórica dos dados para as pistas de pouso e decolagem, os usuários também podem ter informações capazes de auxiliar na gestão das PPD.

Idealiza-se que os dados dos levantamentos sejam inseridos automaticamente no Dashboard, por meio de integração com um banco de dados criado a partir dos relatórios técnicos por sistema digital. Para tanto, esses relatórios, obtidos atualmente em documento PDF, teriam alteração na forma de recepção por meio de formulário online (sistema próprio da ANAC) e integrados ao banco de dados para retroalimentação do Dashboard.

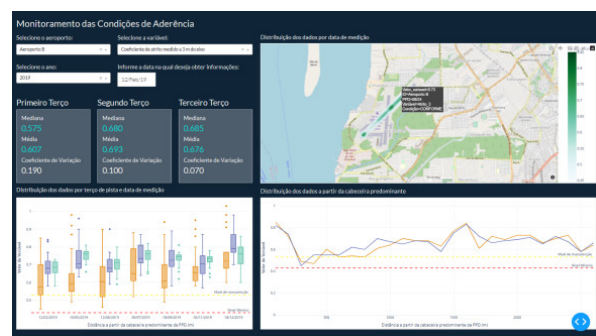
Quanto à segurança e confiabilidade das informações existentes no banco de dados, este deve ser restrito à adição ou alteração de qualquer informação por profissionais capacitados e autorizados. Assim, apenas deverão ser permitidas edições mediante autorização dos responsáveis técnicos inseridos no sistema e após a realização obrigatória de backup da versão anterior. Quanto à visualização dos dados, essa deve estar disponível e ser controladas por todos os que possuem acesso ao sistema.

Para o Dashboard proposto, usou-se a base de dados da PPD do Aeroporto A, do Aeroporto B e do Aeroporto C. No entanto, destaca-se que ele pode ser replicado para qualquer aeródromo, assim como para inserção de outras variáveis além do coeficiente de atrito e da macrotextura, bastando, para isso, atualizar a base de dados com as informações dos outros aeródromos

e inserir tais informações no código desenvolvido pela linguagem de programação em Python, que é utilizado para a geração da plataforma.

O esboço do painel que contempla a representação do Dashboard é demonstrado na Figura 9, para o coeficiente de atrito a 3 m e a PPD do Aeroporto B. Observa-se informações como a distribuição dos dados por comprimento da PPD, a depender da variável selecionada, do seu lado e da data de medição.

**Figura 9:** Dashboard - Coeficiente de atrito a 3 m – PPD do Aeroporto B para o ano de 2019.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho possibilitou o diagnóstico, a caracterização e a análise de parâmetros obtidos a partir de levantamentos realizados em pavimentos aeroportuários brasileiros, objetivando a verificação das condições de aderência (coeficiente de atrito e macrotextura). A partir da reestruturação dos dados existentes para as PPD dos três aeroportos, foi possível compreender a situação dos dados nacionais para pavimentos aeroportuários.

Notou-se que devido à elevada dispersão dos dados, em geral, pode ser necessário considerar a mediana, como substituta da média para a avaliação da condição das PPD. Apesar de fornecer uma visão mais global, o uso da média pode ocasionar conclusões equivocadas, sobretudo quando existe alta variação amostral e presença de valores máximos e mínimos extremos (outliers).

A aplicação do banco de dados por meio de Dashboard mostrou-se uma ferramenta viável a ser considerada para auxiliar no processo de tomada de decisão e compreensão global das informações por segmentação de data de medição, ano ou variável a ser analisada. A ferramenta possibilita aos usuários uma abordagem de visão holística. Além disso, em casos que se observe a possível queda de valores dos índices analisados e, por



consequência, comprometimento da segurança operacional, é possível direcionar ações preventivas e de investigação mais específica e possibilitar o acompanhamento da série histórica para cada PPD.

Ademais, a integração entre um formulário de captação dos relatórios em formato digital por um sistema e o banco de dados digital é capaz de permitir uma célere recuperação, adequado tratamento e análise, estatística e visual, dos dados coletados e retroalimentar o Dashboard. O conjunto de ações pode refletir num adequado gerenciamento dos pavimentos aeroportuários, por meio da racionalização e do acompanhamento ao longo do tempo das informações existentes.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) pelos recursos financeiros e disponibilização dos dados utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ANAC. **Aeródromos - Operação, manutenção e resposta à emergência. Regulamento Brasileiro de Aviação Civil - RBAC Número 153, emenda número 05.** Brasília, DF. 2021.

ANAC. **Anuário do Transporte Aéreo 2021.** Brasília, DF: ANAC. 2022.

CHEN, J.-S.; HUANG, C.-C.; CHEN, C.-H.; SU, K.-Y. Effect of rubber deposits on runway pavement friction characteristics. **Transportation Research Record**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 2068, n. 1, p. 119–125, 2008.

GONÇALVES, H. B. B. **Desenvolvimento de banco de dados para condições de aderência em pavimentos aeroportuários.** Dissertação (Mestrado em engenharia de transportes) — Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. 65 f.

HAAS, R.; HUDSON, W. R.; ZANIEWSKI, J. **Modern Pavement Management.** 1. ed. Malabar, Florida, USA: Krieger Publishing Company, 1994.

ISMAIL, N.; ISMAIL, A.; RAHMAT, R. Development of expert system for airport pavement maintenance and rehabilitation. **European Journal of Scientific Research**, European Journals Inc., v. 35, n. 1, p. 121–129, 2009.

LUCA, M. D.; ABBONDATI, F.; PIROZZI, M.; ŽILIONIENĖ, D. Preliminary study on runway

pavement friction decay using data mining.

**Transportation Research Procedia**, Elsevier, v. 14, n. 1, p. 3751–3760, 2016.

MAIA, A. O.; SALES, R. S.; OLIVEIRA, F. H. L. Avaliação das condições de aderência em pavimento aeroportuário pós-obra de reabilitação. In: **Anais do 36º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes.** Fortaleza: ANPET, 2022.

MASCIO, P. D.; MORETTI, L. Implementation of a pavement management system for maintenance and rehabilitation of airport surfaces. **Case studies in construction materials**, Elsevier, v. 11, p. e00251, 2019.

MAIA, M. T.; OH, E.; CHAI, G.; BELL, P. An overview of the airport pavement management systems (apms). **International Journal of Pavement Research and Technology**, Springer, v. 13, n. 1, p. 581–590, 2020.

MOTA, Í. P. D. H.; OLIVEIRA, F. H. L. de; AGUIAR, M. F. P. de. Verificação multicritério das condições físicas para a segurança operacional aeroportuária. **Transportes**, v. 24, n. 2, p. 21–26, 2016.

MOURA, I. R.; SILVA, F. J. dos S.; COSTA, L. H. G.; NETO, E. D.; VIANA, H. R. G. Airport pavement evaluation systems for maintenance strategies development: A systematic literature review. **International Journal of Pavement Research and Technology**, Springer, v. 14, n. 1, p. 676–687, 2021.

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**, MDPI, v. 20, n. 14, p. 3886, 2020.

QUARIGUASI, J. B. F.; C., A. L.; L., O. F. H.; A., P. L. Análise da aderência pneu-pavimento aeroportuário em revestimento de camada porosa de atrito. In: **Anais do 33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes.** Gramado: ANPET, 2019. p. 1099–1109.

SALES, R. d. S.; OLIVEIRA, F. H. L. d.; PRADO, L. d. A. Performance of tire-asphalt pavement adherence according to rubber removal on runways. **International Journal of Pavement Engineering**, Taylor & Francis, v. 23, n. 10, p. 3566–3576, 2022.

ZHU, X.; YANG, Y.; ZHAO, H.; JELAGIN, D.; CHEN, F.; GILABERT, F. A.; GUARIN, A. Effects of surface texture deterioration and wet surface conditions on asphalt runway skid resistance. **Tribology International**, Elsevier, v. 153, n. 1, p. 106589, 2021.