

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA REMOÇÃO DE BORRACHA NA ADERÊNCIA PNEU-PAVIMENTO DE PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM

**Renata de Souza Sales
Aldaianny de Oliveira Maia
Francisco Heber Lacerda de Oliveira**

Universidade Federal do Ceará
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

RESUMO

As fases de pouso e decolagem são consideradas as mais críticas de um voo, uma vez que concentram os maiores percentuais de ocorrência de acidentes. Dessa forma, a aderência pneu-pavimento necessita de atenção, pois é um fator com grande influência sobre a segurança dessas operações. Portanto, esse trabalho tem como objetivo analisar a efetividade da remoção de borracha em pistas de pouso e decolagem. Para tanto, são avaliados pares de medições de coeficiente de atrito e macrotextura, em que não tenha ocorrido a remoção de borracha entre elas, por meio de Testes de Hipóteses entre amostras pareadas. Os resultados indicaram que a frequência de execução da remoção de borracha é eficiente, uma vez que não foram observados muitos períodos em que houve diminuições nos valores. Além disso, verificou-se que as condições de aderência, mensuradas pelo coeficiente de atrito e macrotextura, são adequadas à segurança das operações de pouso e decolagem.

ABSTRACT

The landing and take-off operations are considered the most critical of a flight since they concentrate the highest percentages of accident occurrence. Thus, the tire-pavement adherence requires attention since it is a factor with high influence on the safety of these operations. Therefore, this work aims to analyze the effectiveness of the rubber removal process. For this, measurements pairs of friction coefficient and macrotexture are evaluated, in which the rubber removal procedure has not been performed between them. The analyses were performed employing Hypothesis Tests for paired samples. The results showed that the frequency of the rubber removal process is efficient since not many periods in which decreases in the values were observed. In addition, it was verified that the adherence conditions, measured by the friction coefficient and macrotexture, are adequate for the safety of landing and take-off operations.

1. INTRODUÇÃO

As etapas de pouso e decolagem são as mais críticas das fases de um voo no que se refere à segurança operacional das aeronaves. De acordo com CENIPA (2021), cerca de 52% dos acidentes e 61% dos incidentes graves identificados nos aeródromos brasileiros entre 2010 e 2019 ocorreram durante essas fases.

Diante disso, a deficiência na aderência pneu-pavimento é a maior responsável pela frenagem ineficaz das aeronaves, a qual é frequentemente relacionada aos incidentes e acidentes, que ocorrem durante as fases de pouso e decolagem de um voo. Essa aderência em pavimentos aeroportuários é caracterizada pela macrotextura e pelo coeficiente de atrito. Com isso, pode-se afirmar que as atividades de manutenção e reabilitação dos pavimentos aeroportuários, contribuem consideravelmente para a segurança das operações (Oliveira, 2009).

A presença de contaminantes na superfície dos pavimentos aeroportuários pode ser considerada como o fator que mais interfere na aderência pneu-pavimento. Dentre esses contaminantes, pode-se mencionar a borracha oriunda dos pneus das aeronaves que se deposita sobre o revestimento das pistas de pouso e decolagem durante suas operações. O processo de remoção dessa borracha acumulada é a principal ação de preservação realizada atualmente nos aeroportos brasileiros e tem sua frequência de execução regulamentada pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2020).

Dessa forma, o presente trabalho pretende analisar a efetividade do processo de remoção de borracha em pavimentos aeroportuários brasileiros, por meio da aderência pneu-pavimento. Para tanto, foram avaliadas as variações do coeficiente de atrito e da macrotextura para dois aeroportos, com revestimentos asfálticos distintos em suas pistas de pouso e decolagem.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Cunha *et al.* (2021) desenvolveram uma metodologia multicritérios para o monitoramento da manutenção de pistas de pouso e decolagem por meio da percepção de risco em aeroportos. Os autores identificaram que sete parâmetros concentravam 80% do risco percebido pelos profissionais da área consultados durante o estudo; entre esses estavam o coeficiente de atrito e a profundidade de macrotextura. Três fatores foram responsáveis por 52% da percepção dos entrevistados, entre eles o coeficiente de atrito. Diante disso, as conclusões do estudo indicam que os recursos destinados à manutenção devem ser melhor distribuídos de maneira que seja destinada maior atenção aos fatores mais relevantes.

Mota *et al.* (2016) utilizaram uma Metodologia de Análise Hierárquica e avaliaram condições de aderência, estruturais e funcionais das pistas de pouso e decolagens brasileiras, por meio de consulta a profissionais da área da aviação. Dessa forma, poderia se garantir a segurança das operações de pouso e decolagem, além de priorizar as atividades de manutenção e reabilitação consideradas mais relevantes. O estudo identificou que a aderência pneu-pavimento é a condição de maior importância, com peso de 61,2%, e que deveria ser priorizada frente as condições funcionais com 27,6% e estruturais com 11,3%. Essa porcentagem é resultado da soma dos pesos destinados à profundidade de macrotextura e ao coeficiente de atrito.

A fim de examinar o desempenho dos parâmetros de macrotextura e coeficiente de atrito de uma pista de pouso e decolagem com revestimento de Camada Porosa de Atrito (CPA), Quariguasi *et al.* (2018) analisaram a evolução dos valores ao longo de um período de três anos e realizaram testes de igualdade de médias para a profundidade de macrotextura, por meio da análise das variâncias (ANOVA), com hipótese nula de que todas as médias são iguais para um nível de significância de 5%. O teste não mostrou indícios suficientes para rejeitar a hipótese nula de que os valores das médias dos grupos eram iguais.

Além disso, o estudo de Quariguasi *et al.* (2018) concluiu que o coeficiente de atrito apresentou pouca variação ao longo do período analisado, sendo observadas variações cíclicas justificadas pela realização das remoções de borracha periódicas. Por fim, foi pontuado que a profundidade de macrotextura apresentou tendência de crescimento a longo prazo.

Chen *et al.* (2008) avaliaram os efeitos do acúmulo de borracha no coeficiente de atrito de pavimentos aeroportuários no *Kaohsiung International Airport* (KIA), localizado em Taiwan. De acordo com o estudo, os depósitos de borracha causaram fortes efeitos no coeficiente de atrito da superfície do pavimento, de maneira que foi possível observar uma redução de 0,05 no coeficiente com a presença de 0,1mm de borracha. Além disso, observou-se que um pouso de uma aeronave pode resultar em um acréscimo de 0,05µm de borracha à superfície do pavimento aeroportuário.

Um modelo preliminar de previsão do coeficiente de atrito para pistas de pouso e decolagem, utilizando Redes Neurais Artificiais, foi desenvolvido por Quariguasi *et al.* (2019). Os autores fizeram uso de seis variáveis para estimar os valores do parâmetro. Entre as variáveis

analisadas estão a profundidade de macrotextura e as remoções de borracha do pavimento, além de condições climáticas e número de operações realizadas nos aeródromos.

Sales *et al.* (2021) analisaram o desempenho do processo de remoção de borracha em pavimentos aeroportuários, por meio da aderência pneu-pavimento. O estudo foi realizado por meio de Teste de Hipóteses para Amostras Pareadas, de maneira que se utilizou pares de medições em que houvesse a realização da remoção de borracha do pavimento no período entre elas. O estudo não identificou, durante o período analisado, aumentos no coeficiente de atrito e na macrotextura que fossem justificados pela remoção de borracha do pavimento. Contudo, observou-se que o processo foi importante para manter os valores dos parâmetros em níveis adequados à segurança das operações aeroportuárias.

No Brasil, ANAC (2020) determina que remoção de borracha deve ser realizada quando notar-se que as condições de aderência do pavimento estão sendo afetadas pela presença do contaminante. Além disso, determina-se a execução quando o coeficiente de atrito apresentar valor inferior ao mínimo estabelecido para nível de manutenção (0,53 para medições realizadas com o *Grip Tester* a 65km/h), ou quando a profundidade de macrotextura for menor que o nível mínimo, (0,60mm para revestimentos em Concreto Asfáltico e 1,20mm para Camada Porosa de Atrito), na frequência mínima estabelecida pela Tabela 1.

Tabela 1: Frequência mínima de remoção de borracha em aeródromos (ANAC, 2020)

Faixas	Médias de poucos diárias de aeronaves de asa fixa com motor à reação, na cabeceira predominante, no último ano	Frequência de remoção de borracha
1	Menos de 15	Cada 720 dias
2	16 a 30	Cada 360 dias
3	31 a 90	Cada 180 dias
4	91 a 150	Cada 120 dias
5	151 a 210	Cada 90 dias
6	Mais de 210	Cada 60 dias

3. MÉTODO DE PESQUISA

Para a análise do coeficiente de atrito e da profundidade de macrotextura, foram escolhidos dois aeroportos com revestimentos asfálticos distintos: Camada Porosa de Atrito (CPA) e Concreto Asfáltico (CA). As medições de coeficiente de atrito em ambas as pistas de pouso e decolagem foram realizadas pelo equipamento *Grip Tester* a uma velocidade de 65km/h. Os dados utilizados são referentes às medições realizadas a 3m de distância do eixo. As medições de profundidade de macrotextura são realizadas por meio do ensaio de mancha de areia a 3m do eixo. As etapas utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho são descritas a seguir.

3.1. Coleta de Dados

Os dados de coeficiente de atrito e macrotextura utilizados nesta análise foram obtidos por meio de relatórios disponibilizados pela ANAC, entre os anos de 2014 e 2018. A profundidade de macrotextura foi mensurada por meio de revezamento entre os lados direito e esquerdo do eixo da pista, a cada 100m. O coeficiente de atrito é medido a cada 100m em ambos os lados. Dessa forma, calculou-se a média entre os valores de coeficiente de atrito para os lados direito e esquerdo.

3.2. Análise Estatística

Inicialmente, realizou-se uma triagem dos dados, de maneira a selecionar pares de valores de macrotextura e coeficiente de atrito, em que entre as duas medições não houvesse ocorrido remoção de borracha no pavimento. Devido as remoções de borracha não serem realizadas em todo o comprimento da PPD, optou-se por utilizar apenas os dados referentes aos trechos em que o procedimento é realizado. Dessa forma, fez-se o uso dos valores referentes ao primeiro terço do pavimento CA, relativo à 900m de pista e ao primeiro e terceiro terço do pavimento CPA, relativo à 900m de pista. O coeficiente de atrito do pavimento em CPA apresentou menor número de dados pois as medições não são efetuadas em todo o terceiro terço da pista.

Para verificar a variação da aderência pneu-pavimento quando não há processo de remoção de borracha, optou-se pelo uso do Teste de Hipóteses para amostras pareadas. O Teste de Hipóteses foi realizado com as seguintes hipóteses estabelecidas:

- a) Hipótese Nula (H_0): os valores de coeficiente de atrito e profundidade de borracha são iguais em medições com datas seguidas, em que não foi realizada a remoção de borracha entre as avaliações de superfície;
- b) Hipótese Alternativa (H_1): os valores da data posterior são menores que os da data anterior, ou seja, caíram devido a não realização do processo de remoção de borracha.

O Teste de Hipótese foi realizado utilizando a distribuição t de *Student*, cujas premissas a serem atendidas são: (i) as variáveis analisadas, profundidade de macrotextura e coeficiente de atrito, podem ser bem representadas por uma distribuição normal e que (ii) o fenômeno que se analisa entre as medições interfira apenas no aumento ou diminuição dos valores e não na variabilidade, ou seja, deve haver homogeneidade das variâncias entre as medidas. Portanto, deve-se testar se as duas premissas são atendidas.

Realizou-se, primeiramente, o teste de *Shapiro-Wilk* para normalidade de grupos, por meio do software R, uma vez que foram analisados os valores de coeficiente de atrito e macrotextura em diferentes datas. A hipótese nula desse teste é a de que a população é normalmente distribuída, de forma que a hipótese alternativa é que esta não segue distribuição normal.

Em seguida, realizou-se o teste de *Levene* para homogeneidade de variância da população, também por meio do software R. A hipótese nula é a de que a população apresenta homogeneidade de variância para o conjunto de dados amostral entre os pares analisados, de maneira que a hipótese alternativa é a de que as variâncias são heterogêneas.

O Teste de Hipóteses para amostras pareadas pode ser realizado considerando-as dependentes ou independentes. Assim, antes da execução do teste, a autocorrelação entre os pares de dados foi calculada, a fim de identificar aqueles que estão correlacionados e, dessa maneira, realizar diferentes testes para os casos em que apresentam ou não correlação. A classificação de dependência e independência foi feita com o apoio de um teste de significância de autocorrelação. O Teste de Hipóteses foi realizado para todos os parâmetros com significância de 0,05.

Além disso, foram plotados *boxplots*, para auxiliar na análise visual do comportamento desses dados, de maneira que fosse possível a verificação dos resultados dos Testes de Hipóteses. Foram plotados gráficos para cada parâmetro e aeroporto considerados neste estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisou-se 21 medições de macrotextura e 26 de coeficiente de atrito referentes ao pavimento com revestimento em CA, das quais duas de coeficiente de atrito não passaram no teste de normalidade e foram descartadas para essa análise, com resultado de p-valores iguais a 0,018 e 0,011. Ambas as variáveis passaram no teste de homogeneidade de *Levene*, com p-valor > 0,05, como mostra a Tabela 2, o que permitiu seguir para o Teste de Hipóteses de amostras pareadas.

Tabela 2: Resultados do teste de homogeneidade para o pavimento em CA

Parâmetro	p-valor
Coeficiente de Atrito	0,11
Profundidade de Macrotextura	0,62

Dessa forma, foi possível obter 10 pares de amostras referentes a macrotextura do pavimento composto em CA e 14 pares para o coeficiente de atrito da mesma pista de pouso e decolagem. Os resultados referentes a macrotextura estão expostos na Tabela 3, na qual é possível visualizar a Estatística t observada para a amostra e a Estatística t crítica para o teste. A zona de rejeição da hipótese nula é $t_{\text{observada}} \leq t_{\text{crítica}}$.

Tabela 3: Resultados do Teste de Hipóteses para a macrotextura do pavimento em CA

Par de medições	Estatística t observada	Estatística t crítica	Resultado do Teste
2-3	3,03	1,75	H_0 rejeitada
4-5	-0,84	1,79	H_0 não rejeitada
7-8	-0,17	1,75	H_0 não rejeitada
8-9	-0,67	1,75	H_0 não rejeitada
10-11	1,17	1,75	H_0 não rejeitada
11-12	0,08	1,75	H_0 não rejeitada
13-14	3,15	1,75	H_0 rejeitada
16-17	-0,06	1,77	H_0 não rejeitada
17-18	0,62	1,86	H_0 não rejeitada
20-21	-0,93	1,76	H_0 não rejeitada

Por meio dos resultados do Teste de Hipóteses para a macrotextura, pode-se observar que em 80% dos pares analisados não houve indícios suficientes para rejeitar a hipótese nula. Isso indica que é possível considerar que esses valores de macrotextura se mantiveram constantes, mesmo quando não houve remoção de borracha para a PPD com revestimento em CA.

A Figura 1 apresenta os *boxplots* para a macrotextura do pavimento em CA, no eixo y estão os valores de macrotextura e no eixo x as denominações de cada medição em relação ao par apresentado. Pode-se observar a variação que ocorreu entre os pares de medições analisados. Em 50% das análises pode-se observar graficamente que houve diminuição da macrotextura entre uma medição e outra. No entanto, apenas duas dessas são estatisticamente significantes, visto que o Teste de Hipóteses teve a conclusão de que todas as outras podem ser consideradas iguais.

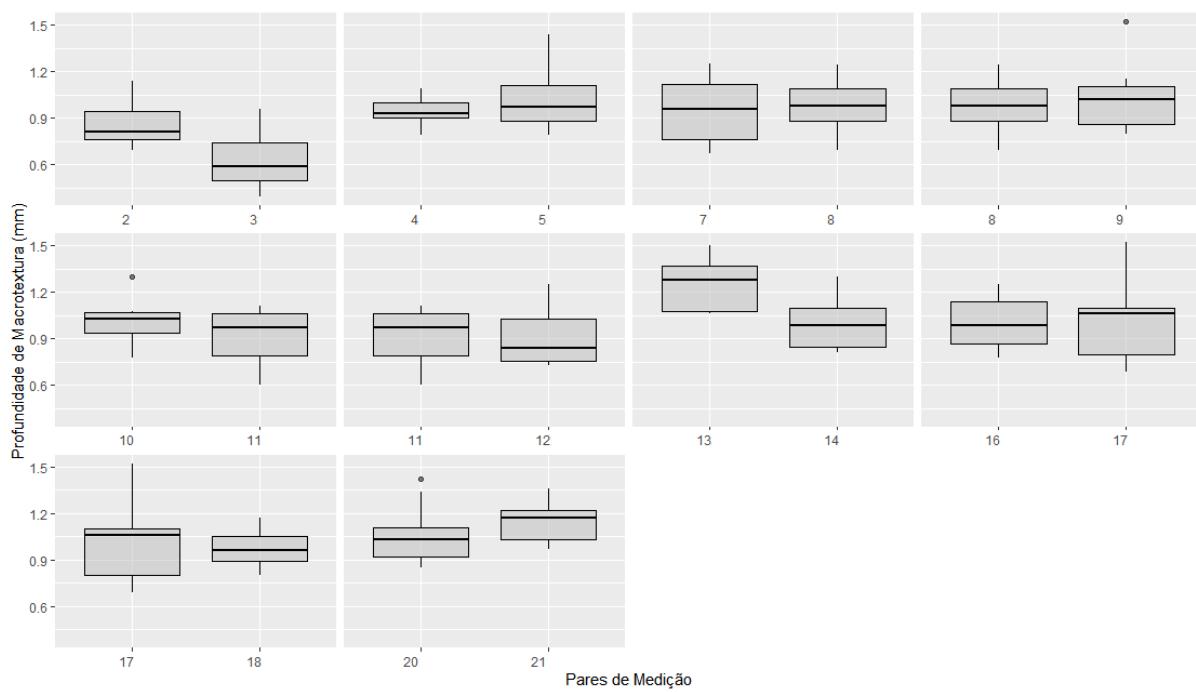


Figura 1: Boxplots para a macrotextura do pavimento em CA

Os resultados referentes ao coeficiente de atrito são apresentados na Tabela 4. Pode-se observar que a hipótese nula foi rejeitada em seis das análises. Dessa forma, percebe-se que os valores de coeficiente de atrito se mantiveram constantes em 57,14% dos pares avaliados.

Tabela 4: Resultados do Teste de Hipóteses para o coeficiente de atrito do pavimento em CA

Par de medições	Estatística t observada	Estatística t crítica	Resultado do Teste
4-5	0,81	1,75	H_0 não rejeitada
5-6	-6,72	1,81	H_0 não rejeitada
7-8	2,86	1,75	H_0 rejeitada
9-10	5,22	1,86	H_0 rejeitada
10-11	-3,41	1,75	H_0 não rejeitada
11-12	2,26	1,86	H_0 rejeitada
12-13	-1,52	1,86	H_0 não rejeitada
14-15	2,19	1,86	H_0 rejeitada
15-16	4,44	1,86	H_0 rejeitada
16-17	-1,50	1,83	H_0 não rejeitada
19-20	17,68	1,86	H_0 rejeitada
21-22	-0,26	1,78	H_0 não rejeitada
22-23	-1,47	1,75	H_0 não rejeitada
25-26	-0,65	1,85	H_0 não rejeitada

Os boxplots para o coeficiente de atrito do pavimento CA são apresentados na Figura 2. Em 50% das análises pode-se observar graficamente que houve diminuição do coeficiente de atrito entre uma medição e outra; em três dessas diminuições são visualmente maiores. No entanto, a diminuição não foi estatisticamente significante em um dos pares visualizados,

visto que o Teste de Hipóteses teve como conclusão de que as medições podem ser consideradas iguais.

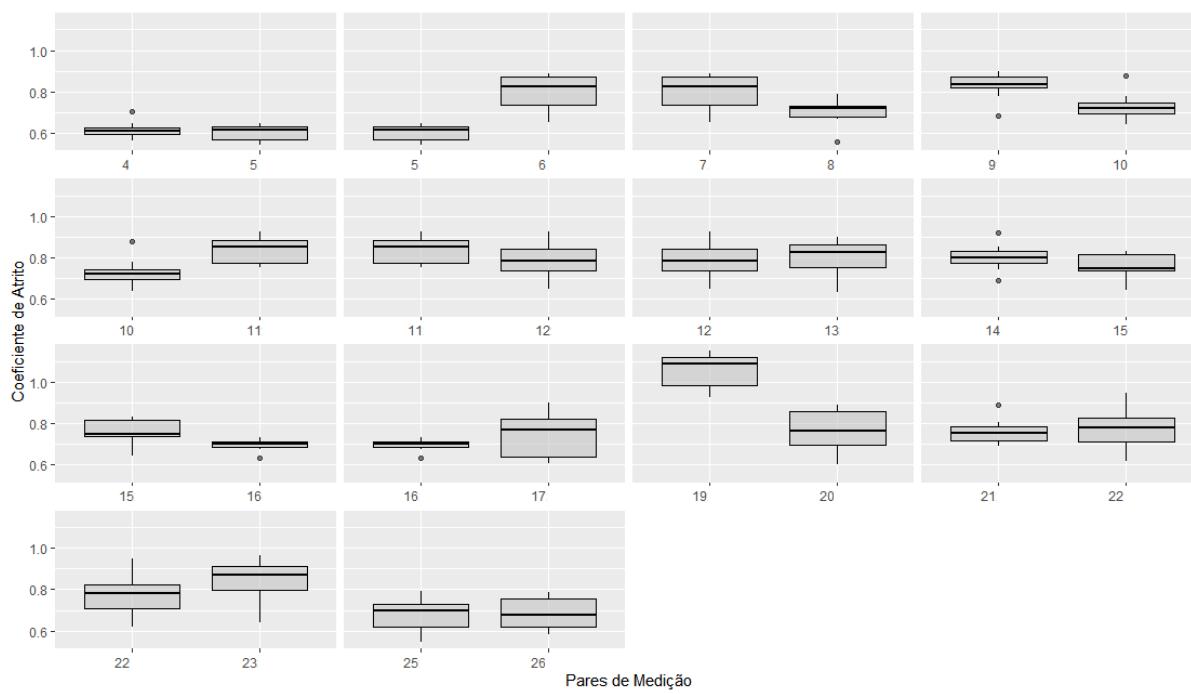


Figura 2: Boxplots para o coeficiente de atrito do pavimento em CA

Em relação ao pavimento com revestimento em CPA, analisou-se 21 medições de macrotextura e 49 de coeficiente de atrito. Entre essas quatro não passaram no teste de normalidade para macrotextura, pois apresentaram p-valores iguais a 0,0497, 0,0472, 0,0479 e 0,0180, e uma não passou no teste para o coeficiente de atrito, com p-valor igual a 0,0116, de maneira que foram descartadas das respectivas análises. No que diz respeito ao teste de *Levene*, ambas as variáveis apresentaram a não rejeição da hipótese nula, que considera a homogeneidade das variâncias, com p-valor > 0,05, como mostra a Tabela 5. O atendimento às premissas permitiu realizar o Teste de Hipóteses de amostras pareadas.

Tabela 5: Resultados do teste de homogeneidade para o pavimento em CPA

Parâmetro	p-valor
Coeficiente de Atrito	0,86
Profundidade de Macrotextura	0,75

Após as exclusões dos valores que não atenderam as análises iniciais, foi possível obter 5 pares de amostras referentes à macrotextura e 27 ao coeficiente de atrito com as medições resultantes. Os resultados referentes a macrotextura estão expostos na Tabela 6.

Tabela 6: Resultados do Teste de Hipóteses para a macrotextura do pavimento em CPA

Par de medições	Estatística t observada	Estatística t crítica	Resultado do Teste
7-8	0,70	1,86	H_0 não rejeitada
14-15	0,26	1,86	H_0 não rejeitada
17-18	3,11	1,86	H_0 rejeitada
18-19	0,10	1,86	H_0 não rejeitada
19-20	-0,29	1,86	H_0 não rejeitada

É possível observar, por meio dos resultados do Teste de Hipóteses para a macrotextura, que a hipótese nula foi rejeitada em apenas uma das análises. Isso demonstra que, em quatro análises, é possível considerar que os valores de macrotextura se mantiveram constantes nos períodos em que a remoção de borracha não foi realizada.

Na Figura 3 os *boxplots* para a macrotextura do pavimento em CPA são apresentados. Em apenas duas das análises pode-se observar graficamente que houve uma pequena diminuição, da macrotextura, e em apenas uma delas o Teste de Hipóteses mostrou que a não ocorrência de remoção de borracha pode ter proporcionado diminuição nos valores.

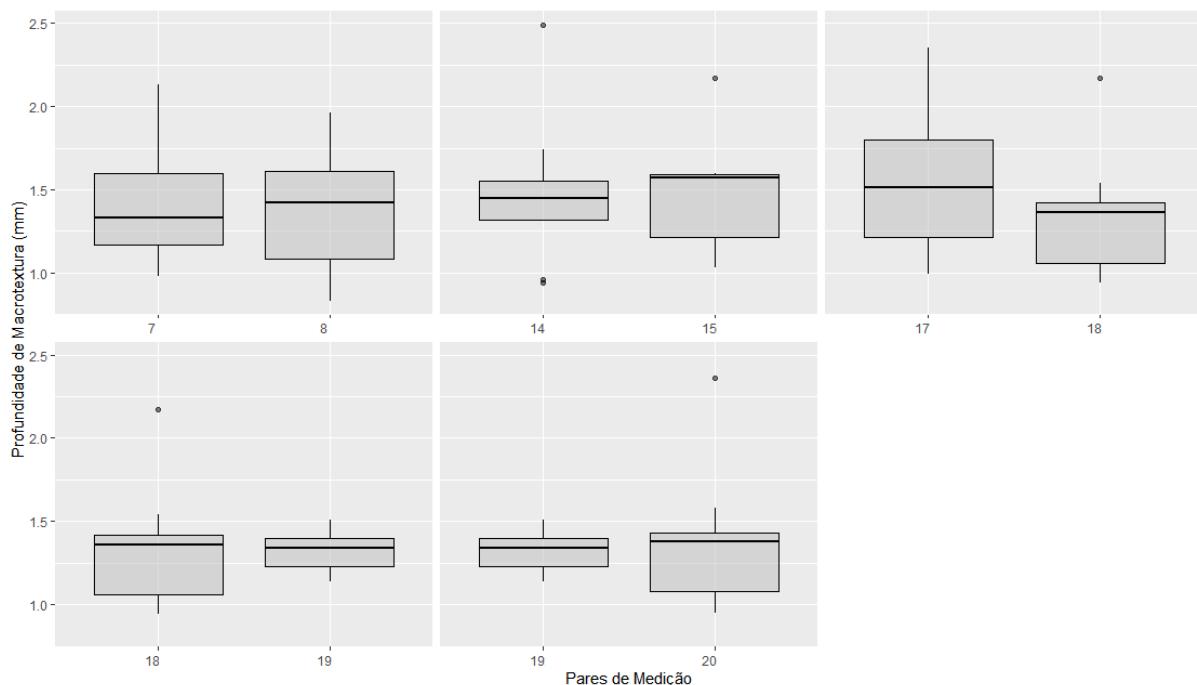


Figura 3: Boxplots para a macrotextura do pavimento em CPA

Os resultados referentes ao coeficiente de atrito, são apresentados na Tabela 7. É possível verificar que a hipótese nula foi rejeitada em cinco das análises. Portanto, percebe-se que os valores de coeficiente de atrito se mantiveram constantes em 81,5% das situações em que a remoção de borracha não foi realizada.

Tabela 7: Resultados do Teste de Hipóteses para o coeficiente de atrito do pavimento em CPA

Par de medições	Estatística t observada	Estatística t crítica	Resultado do Teste
1-2	0,50	2,13	H_0 não rejeitada
2-3	0,73	2,13	H_0 não rejeitada
3-4	-1,80	1,94	H_0 não rejeitada
4-5	2,37	2,02	H_0 rejeitada
8-9	1,93	2,01	H_0 não rejeitada
9-10	-1,39	2,13	H_0 não rejeitada
14-15	1,22	2,14	H_0 não rejeitada
15-16	0,03	2,13	H_0 não rejeitada
17-18	-2,36	2,13	H_0 não rejeitada
18-19	0,04	2,13	H_0 não rejeitada
19-20	-0,05	2,13	H_0 não rejeitada
22-23	0,12	2,13	H_0 não rejeitada
25-26	-0,18	2,02	H_0 não rejeitada
26-27	2,60	1,90	H_0 rejeitada
27-28	-1,28	2,13	H_0 não rejeitada
28-29	0,35	2,13	H_0 não rejeitada
30-31	0,80	1,94	H_0 não rejeitada
32-33	0,62	1,90	H_0 não rejeitada
34-35	1,50	1,94	H_0 não rejeitada
35-36	2,99	2,13	H_0 rejeitada
40-41	4,63	2,13	H_0 rejeitada
41-42	-0,75	1,90	H_0 não rejeitada
42-43	-0,64	1,90	H_0 não rejeitada
43-44	1,70	1,94	H_0 não rejeitada
45-46	4,89	2,13	H_0 rejeitada
46-47	1,31	2,13	H_0 não rejeitada
47-48	-4,37	2,13	H_0 não rejeitada

A Figura 4 apresenta os *boxplots* para o coeficiente de atrito do pavimento em CPA. Em 55,6% das análises é possível observar queda nos valores. No entanto, apenas em cinco a diminuição dos valores foi estatisticamente significativa.

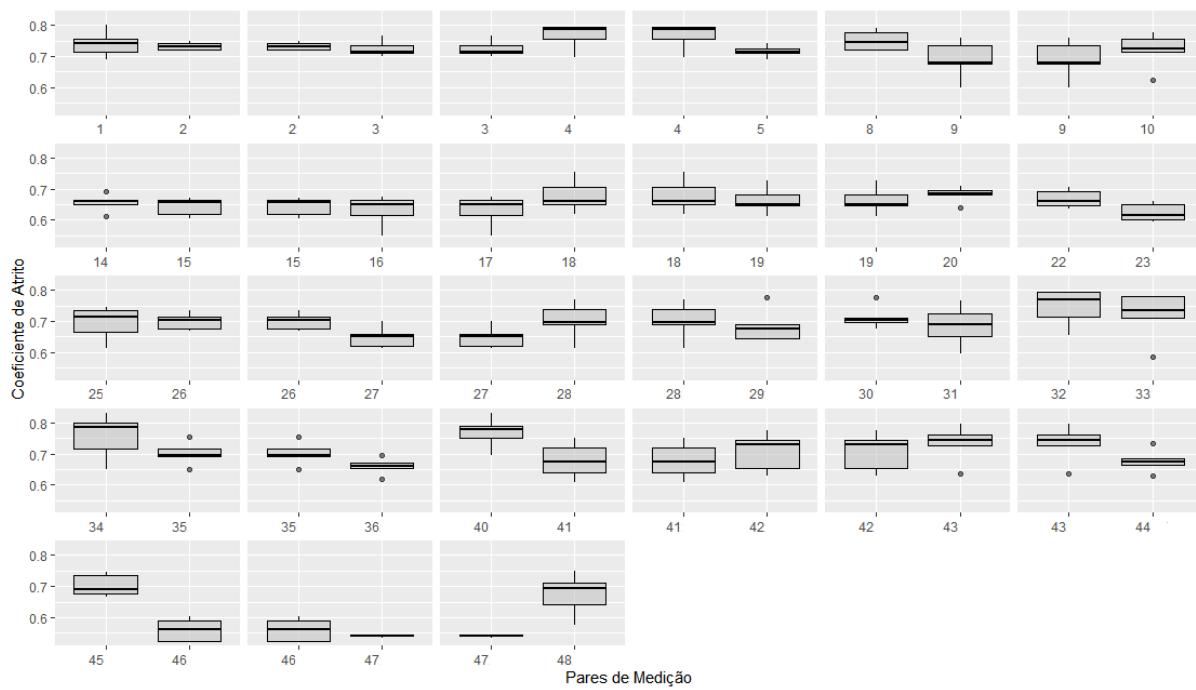


Figura 4: Boxplots para o coeficiente de atrito do pavimento em CPA

4. CONCLUSÕES

Por meio das análises realizadas neste estudo, é possível concluir que não houve diminuições significativas do coeficiente de atrito e da macrotextura nas pistas de pistas de pouso e decolagem com revestimentos em Concreto Asfáltico e Camada Porosa de Atrito. Isso se justifica, pois, a grande maioria dos Testes de Hipóteses obtiveram como conclusão a não rejeição da Hipótese Nula, que considera os pares de medição com valores médios iguais.

Os *bloxplots* permitiram a análise visual dos resultados obtidos por meio dos Testes de Hipótese, de maneira que foi possível observar a dimensão das diminuições do coeficiente de atrito e da macrotextura, nos dois pavimentos estudados. Além disso, os gráficos permitiram verificar que mesmo nos pares em que as diminuições foram observadas, não houve valores abaixo dos regulados pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Ainda é possível verificar que, as diminuições sem significância estatística também não foram visualmente detectadas.

Além disso, foi possível perceber, por meio dos *bloxplots*, que houve pouca variação dos valores no período estudado, em que não ocorreu a atividade de remoção de borracha, de maneira que existem intervalos em que os parâmetros se mantêm visualmente constantes, o que condiz com os resultados dos Testes de Hipóteses. Portanto, pode-se concluir que os pavimentos das pistas de pouso e decolagem dos dois aeroportos analisados apresentam níveis de segurança operacional adequados e que as remoções de borracha realizadas são efetivas e com frequências apropriadas.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) com os recursos financeiros para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANAC (2020) Regulamento Brasileiro da Aviação Civil - RBAC 153. Diário Oficial da União. Brasília, DF.
Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/boletim-de-pessoal/2020/37s1/rbac153emd05.pdf>>.
- CENIPA (2021) Aeródromos: Sumário Estatístico 2010-2019. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. Brasília, DF.
- Chen, J. S.; Huang, C. C.; Chen, C. H.; Su, K. Y. (2008) Effect of rubber deposits on runway pavement friction characteristics. *Transportation Research Record*, n. 2068, p. 119–125.
- Cunha, D. A.; Andrade, M.; Prado, L. A.; Santana, L. O. Gonçalves da Silv, M. P. (2021) RISK assessment in airport maintenance runway condition using MCDA-C. *Journal of Air Transport Management*, v. 90, n. June 2019, p. 101948.
- Mota, Í. P. D. H.; Oliveira, F. H. L.; Aguiar, M. F. P. (2016) Verificação multicritério das condições físicas para a segurança operacional aeroportuária. *Transportes*, v. 24, n. 2, p. 21–26.
- Oliveira, F. H. L. (2009) *Proposição de estratégias de manutenção de pavimentos aeroportuários baseadas na macrotextura e no atrito: estudo de caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza*. Universidade Federal do Ceará.
- Quariguasi, J. B. F.; Almeida, L. C.; Oliveira, F. H. L.; Prado, L. de A.; (2019) Análise da Aderência Pneu-Pavimento Aeroportuário em Revestimento de Camada Porosa de Atrito. *Anais do 33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes*, ANPET, Gramado, RS. p. 1099–1109.
- Quariguasi, J. B. F.; Oliveira, F. H. L.; Reis, S. D. S. (2019) Estudo preliminar sobre proposição de modelo de previsão para o coeficiente de atrito medido em pista de pouso e decolagem. *SITRAER XVIII – Air Transportation Symposium 2019*, Brasília, DF, p. 9.
- Sales, R. de S.; Oliveira, F. H. L.; Prado, L. A. (2021) Performance of tire-asphalt pavement adherence according to rubber removal on runways. *International Journal of Pavement Engineering*, v. 0, n. 0, p. 1–11.

Renata de Souza Sales (renatasales@det.ufc.br)

Aldaianny de Oliveira Maia (aldaianymaia@det.ufc.br)

Francisco Heber Lacerda de Oliveira (heber@det.ufc.br)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará
R. Prof. Armando Farias, 703 - Pici, Fortaleza - CE, Brasil