

ANÁLISE DA ADERÊNCIA PNEU-PAVIMENTO AEROPORTUÁRIO EM REVESTIMENTO DE CAMADA POROSA DE ATRITO

José Breno Ferreira Quariguasi

Lucas Cavalcante de Almeida

Francisco Heber Lacerda de Oliveira

Universidade Federal do Ceará

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

Lucius de Albuquerque Prado

Agência Nacional de Aviação Civil

RESUMO

A Camada Porosa de Atrito (CPA) é um revestimento asfáltico de alta permeabilidade, destinado, entre outros fins, a pistas aeroportuárias, em virtude de não proporcionar a formação de película de água na superfície e, por consequência, favorecer a aderência pneu-pavimento durante as operações de pouso e decolagem. O desempenho satisfatório da CPA está em função das atividades de manutenção ao longo de sua vida útil que impedem o seu desgaste precoce. Nesse sentido, este trabalho analisou os parâmetros de aderência pneu-pavimento de um aeroporto brasileiro cuja pista de pouso e decolagem é composta por CPA, entre meados de 2015 a 2018. Notaram-se variações cíclicas nos valores de macrotextura e de coeficiente de atrito, no entanto, não se pode afirmar, do ponto de vista estatístico, que há uma tendência de crescimento ou diminuição em tais parâmetros. Em relação aos terços da pista, nota-se que as cabeceiras apresentam valores menores de macrotextura.

ABSTRACT

The Porous Friction Course (PFC) is a highly permeable asphalt coating, destined, among other purposes, to runways, as it does not provide the formation of surface water film and, consequently, favors tire-pavement adhesion during landing and take-off operations. The satisfactory performance of the PFC is due to maintenance activities over its useful life that prevent its early wear. In this sense, this paper analyzed the parameters of tire-pavement adhesion of a Brazilian airport whose runway is PFC between 2015 and 2018. Cyclic variations were observed in the values of macrotexture and coefficient of friction, however, it cannot be stated from the statistical point of view that there is a tendency of growth or decrease in such parameters. In relation to the thirds of runway, it is noticed that the threshold present smaller values of macrotexture.

1. INTRODUÇÃO

Acidentes aéreos estão relacionados a diversas condições que envolvem o homem, a máquina e o meio. Considerando-se que os pousos e as decolagens estão entre as operações mais críticas de um voo, destaca-se que a ineficiência de frenagem devido à deficiência de atrito é um dos fatores que mais influenciam na causa dos acidentes. Portanto, os principais parâmetros de aderência pneu-pavimento – macrotextura e coeficiente de atrito – devem ser mensurados periodicamente a fim de garantir a segurança das operações nas pistas de pouso e decolagem (PPD).

A macrotextura está relacionada à drenagem da água na pista, sendo, portanto, uma das características físicas que mais contribui para que se evite a aquaplanagem, fenômeno em que os pneus das aeronaves perdem o contato com a superfície do pavimento devido à película de água. Já o atrito entre o pneu e a pista é uma das principais formas de parada da aeronave. Nesse sentido, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2018) estabelece valores mínimos para tais parâmetros, a fim de que as operações ocorram em segurança.

Alguns tipos de revestimentos, como a Camada Porosa de Atrito (CPA), são empregados como camada de rolamento com a finalidade funcional de melhorar a aderência pneu-pavimento. Segundo Bernucci *et al.* (2008), a CPA possui um elevado teor de vazios e alta permeabilidade, e com isso consegue escoar a água da chuva para o seu interior, promovendo uma rápida

percolação dessa água até o local adequado.

Diante do exposto, este trabalho visa analisar o desempenho dos parâmetros de macrotextura e coeficiente de atrito de uma pista de pouso e decolagem de um aeroporto nacional, cujo revestimento é composto por Camada Porosa de Atrito, entre meados de 2015 a 2018.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A rugosidade do pneu e a macrotextura são um dos aspectos mais importantes em uma avaliação de aderência. A macrotextura é definida como uma classificação de textura com uma série de picos e depressões com comprimentos de onda variando de 0,5 mm a 50 mm, segundo Bernucci *et al.* (2008), Figura 1. Ademais, Rodrigues Filho (2006) afirma que o tamanho do agregado usado na mistura, a faixa granulométrica, a configuração geométrica e a quantidade de vazios existentes na estrutura do pavimento são fatores que caracterizam a macrotextura. Para este autor, o fenômeno da hidroplanagem está diretamente ligado à macrotextura.

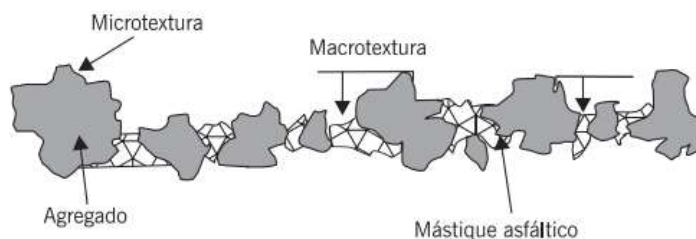


Figura 1: Micro e macrotextura na superfície de um revestimento asfáltico (Bernucci *et al.*, 2008).

O acúmulo de borracha proveniente do desgaste dos pneus das aeronaves, segundo Oliveira (2016), diminui a quantidade de vazios existentes no revestimento, limitando a capacidade de drenagem superficial das pistas de pouso e decolagem em pavimentos aeroportuários, o que pode causar a aquaplanagem das aeronaves. Desta forma, é essencial que haja um controle da macrotextura por parte dos operadores de aeródromos e dos órgãos reguladores, a fim de garantir a segurança das operações na PPD.

O ensaio da mancha de areia é uma das formas de se determinar a profundidade da macrotextura. Tal ensaio é especificado por ANAC (2016) e consiste em calcular a profundidade de um volume de areia que penetrou na textura de um revestimento. Para isso, deve-se espalhar um volume de 24 cm³ de areia especificada sobre o revestimento, de forma circular, com o intuito de medir o diâmetro desenvolvido. As medidas devem ser obtidas a 3 metros do eixo e a cada 100 metros, alternando as leituras entre os lados direito e esquerdo.

A ANAC (2018) classifica a macrotextura de acordo com a profundidade da mancha de areia (P) obtida em ensaio, conforme Tabela 1. Segundo o órgão regulador, a macrotextura das PPD deve apresentar uma profundidade média maior ou igual a 0,60 mm. Caso a PPD não atinja esse valor mínimo, a ANAC (2018) exige que o operador do aeródromo adote medidas para restabelecer os requisitos mínimos exigidos, caso contrário, esse operador estará sujeito a punições ou sanções se não forem cumpridas as exigências mínimas recomendadas.

Tabela 1: Classes de macrotextura (ANAC, 2018)

Classe	Profundidade - P (mm)
Muito fechada	$P \leq 0,20$
Fechada	$0,20 < P \leq 0,40$
Média	$0,40 < P \leq 0,80$
Aberta	$0,80 < P \leq 1,20$
Muito aberta	$P > 1,20$

A principal causa dos acidentes relativos à saída ou derrapagem de aeronaves das pistas de pouso e decolagem está relacionada, na maioria dos casos, às características de atrito sobre a eficácia dos freios das aeronaves, segundo a *International Civil Aviation Organization* (ICAO, 2002). De acordo com Wells e Young (2011) uma das características mais importantes das PPD é o atrito que permite às aeronaves acelerar durante a decolagem e frear após o pouso de forma segura. A ausência de atrito na superfície de uma pista de pouso e decolagem pode resultar em derrapagem, deslizamento ou perda de controle da aeronave.

Os pavimentos rodoviários e aeroportuários devem, na visão de Huang (2004) possuir propriedades de resistência adequadas e duráveis ao atrito, de maneira que minimize os acidentes causados devido às pistas molhadas. Diante do exposto, o órgão regulador deve estabelecer requisitos e os operadores de aeródromos devem manter os pavimentos em condições de atrito consideradas seguras, corrigindo falhas que possam representar um elevado potencial de risco de acidente devido à falta de atrito.

Para a determinação das condições de atrito em pavimentos aeroportuários, a ANAC (2018) não define um equipamento específico para medição do coeficiente de atrito; porém, apresenta uma lista para que o operador do aeródromo possa escolhê-lo. Um desses aparelhos é o *Griptester*, definido por BSI (2000) como um dispositivo com pneus de rodas travadas que pode ser empurrado ou rebocado a uma velocidade de até 130 km/h.

A ANAC (2018) determina que o ensaio seja realizado a uma velocidade de 65 km/h ou 95 km/h, com os pneus calibrados à pressão de 140 KPa e sob a presença de uma lâmina de água de espessura de 1 mm. As medições para determinação do coeficiente de atrito devem ser executadas a 3 e a 6 metros de distância do eixo da pista em ambos os lados. A Tabela 2 expressa os valores de coeficiente de atrito em função da velocidade de medição e do tipo de equipamento.

Tabela 2: Parâmetros dos equipamentos de medição. (Adaptado de ANAC, 2018).

Equipamento	Velocidade do ensaio (km/h)	Coeficiente de atrito (μ)	
		Nível de manutenção	Nível mínimo
<i>Griptester</i>	65	0,53	0,43
	95	0,36	0,24

O Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER, 1999) define a Camada Porosa de Atrito como revestimento pré-misturado a quente com asfalto polímero, mistura executada em usina apropriada, composta de agregado, filer e cimento asfáltico de petróleo modificado por polímero. Apresenta um teor de vazios de 18 a 25%. De acordo com Bernucci *et al.* (2008), a

CPA é utilizada como camada de rolamento com a finalidade funcional de melhorar a aderência pneu-pavimento, sendo responsável pela coleta da água da chuva, promovendo uma rápida percolação da mesma. Portanto, esse tipo de pavimento tem como característica importante a diminuição da lâmina d'água na superfície de rolamento.

Santos (2004) analisou o desenvolvimento do coeficiente de atrito no Aeroporto Santos Dumont, localizado na cidade do Rio de Janeiro/RJ, cujo revestimento é constituído de CPA, entre meados de 1997 e 2003. Nessa ocasião, Santos (2004) constatou que esse parâmetro apresentou uma tendência de decrescimento no período analisado, bem como os resultados encontrados se mostraram cíclicos, variando de 0,55 a 0,75, enfatizando que foram tomadas medidas para que os níveis mínimos fossem reestabelecidos, quando necessário. Além disso, notou-se que a cabeceira mais solicitada apresentou os menores valores de coeficiente de atrito, seguida da outra cabeceira. Ressalta-se que o equipamento utilizado à época foi o Mu-meter e o valor mínimo exigido para esse parâmetro era de 0,61.

Lugão (2008) analisou o desempenho da macrotextura na pista de pouso e decolagem do Aeroporto de Confins, localizado na cidade de Confins/MG, cujo revestimento também era constituído de Camada Porosa de Atrito, e, através dos resultados, propôs valores para classificar a pista quanto ao nível de emborrachamento da mesma, por meio dos resultados dos ensaios de macrotextura, conforme expresso na Tabela 3.

Tabela 3: Níveis de emborrachamento para revestimentos de CPA (Lugão, 2008).

Profundidade da mancha de areia (mm)	Níveis de emborrachamento
< 1,2	Altamente emborrachada
1,2 > P > 1,6	Emborrachada
1,6 > P > 2,0	Levemente emborrachada
> 2,0	Praticamente sem borracha

3. MÉTODO DE PESQUISA

Foi escolhido um aeroporto nacional, de médio porte, com histórico médio de mais de 130 mil operações anuais nos últimos 5 anos, segundo dados do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA, 2015, 2017). Nesse aeroporto, uma das pistas de pouso e decolagem apresenta revestimento asfáltico, executado em 2009, em camada porosa de atrito (CPA) em condições de operações consideradas satisfatórias pelo operador do aeródromo.

Foram realizados 16 ensaios de macrotextura pelo método da mancha de areia e 39 de ensaios de medição de coeficiente de atrito utilizando o equipamento *Griptester*, entre julho de 2015 a março de 2018. Esses dados foram tabulados e analisada a sua evolução através do tempo. Também foram realizadas análises estatísticas nos mesmos, como teste de igualdade das médias. Ressalta-se que tais ensaios foram obtidos por meio de relatórios fornecidos pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC).

Também foram feitas análises da macrotextura por terço da pista de pouso e decolagem. No que tange ao coeficiente atrito, analisou-se os lados separadamente da PPD para o período supracitado, e verificou-se, ainda, se há correlação entre os parâmetros estudados.

4. ANÁLISES E RESULTADOS

A Tabela 4 expressa os valores de profundidade da mancha de areia (P) e a data de medição do ensaio. Nota-se que todos os resultados apresentaram valores de macrotextura classificados

como “muito aberta” e, conseqüentemente, de acordo com as exigências da ANAC (2018). Conforme o gráfico da Figura 2, percebe-se que há uma tendência de aumento nos valores encontrados nesses ensaios. No que diz respeito ao nível de emborrachamento da pista de pouso e decolagem, percebe-se que a PPD apresentou 1 resultado classificado como emborrachado, 13 como levemente emborrachado e 2 como praticamente sem borracha, seguindo a classificação proposta por Lugão (2008).

Tabela 4: Resultados dos ensaios de macrotextura.

Data da medição	P (mm)	Data da medição	P (mm)
21.08.2015	1,66	09.11.2016	1,93
16.10.2015	1,71	07.01.2017	1,70
11.12.2015	1,49	11.05.2017	1,84
05.02.2016	1,64	06.07.2017	1,68
22.03.2016	1,78	24.08.2017	1,89
21.05.2016	1,82	19.10.2017	2,05
20.07.2016	1,95	23.12.2017	1,79
14.09.2016	1,88	02.03.2018	2,24

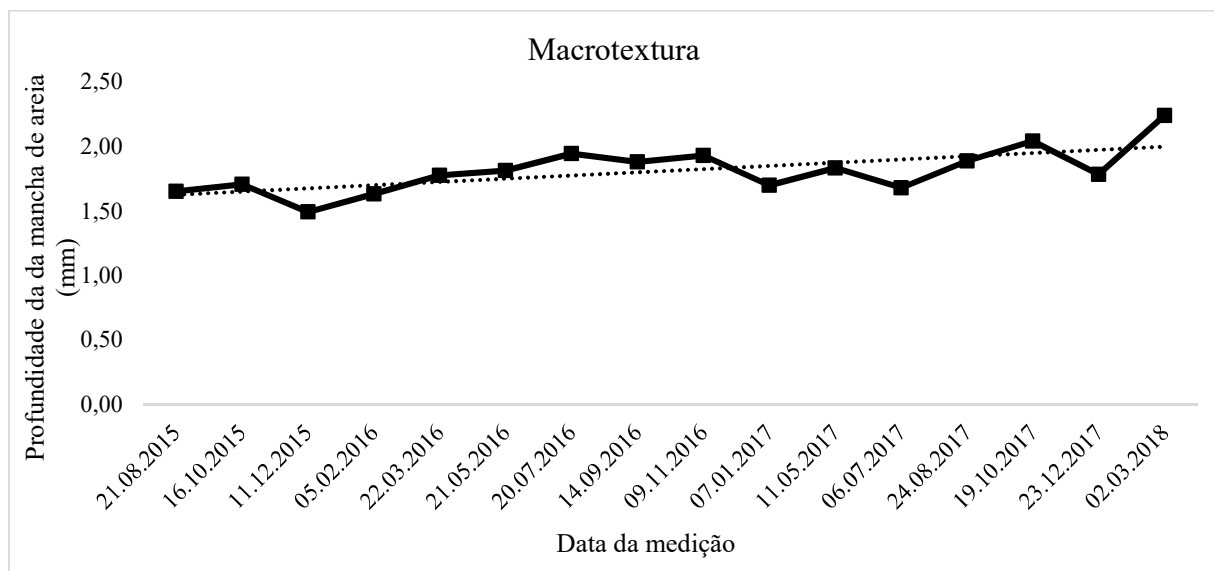


Figura 2: Resultados dos ensaios de macrotextura ao longo dos anos.

Realizou-se uma análise das variâncias (ANOVA) nos dados de macrotextura, cuja hipótese nula indica que todas as médias são iguais e a hipótese alternativa indica que nem todas as médias são iguais para um nível de significância de 5%. De acordo com os resultados expostos na Tabela 5 não se pode rejeitar a hipótese nula de que as médias são iguais, uma vez que o Valor P encontrado é superior ao nível de significância. Com isso, essa tendência de aumento da macrotextura pode estar associada à variância dos resultados dos ensaios.

Tabela 5: Resultados da ANOVA.

Fonte	GL	Valor F	Valor P
Fator	14	0,95	0,51
Erro	195		
Total	209		

A Tabela 6 apresenta os resultados dos ensaios de coeficiente de atrito (μ). Nota-se que todos os resultados apresentaram valores acima do nível de manutenção exigido, isto é, 0,53. Ademais, percebe-se que os valores apresentaram pouca variação ao longo do tempo, oscilando entre 0,60 e 0,80, conforme Figura 3. Não foi realizado um teste de hipótese para o coeficiente atrito, pois não se nota diferenças significativas entre os valores obtidos no decorrer do período analisado.

Tabela 6: Resultados dos ensaios de coeficiente de atrito.

Data da medição	μ	Data da medição	μ	Data da medição	μ
08.07.2015	0,72	27.05.2016	0,67	15.04.2017	0,65
31.07.2015	0,74	24.06.2016	0,66	16.05.2017	0,73
28.08.2015	0,70	06.07.2016	0,66	14.06.2017	0,68
25.09.2015	0,76	16.07.2016	0,67	07.07.2017	0,72
12.11.2015	0,71	15.08.2016	0,70	04.08.2017	0,70
11.12.2015	0,68	14.09.2016	0,68	24.08.2017	0,73
18.12.2015	0,73	14.10.2016	0,68	22.09.2017	0,72
30.01.2016	0,73	11.11.2016	0,65	20.10.2017	0,76
26.02.2016	0,68	09.12.2016	0,67	24.11.2017	0,69
11.03.2016	0,71	07.01.2017	0,61	25.01.2018	0,64
25.03.2016	0,66	18.01.2017	0,69	17.02.2018	0,74
22.04.2016	0,68	16.02.2017	0,69	02.03.2018	0,78
27.04.2016	0,65	17.03.2017	0,69	06.04.2018	0,72

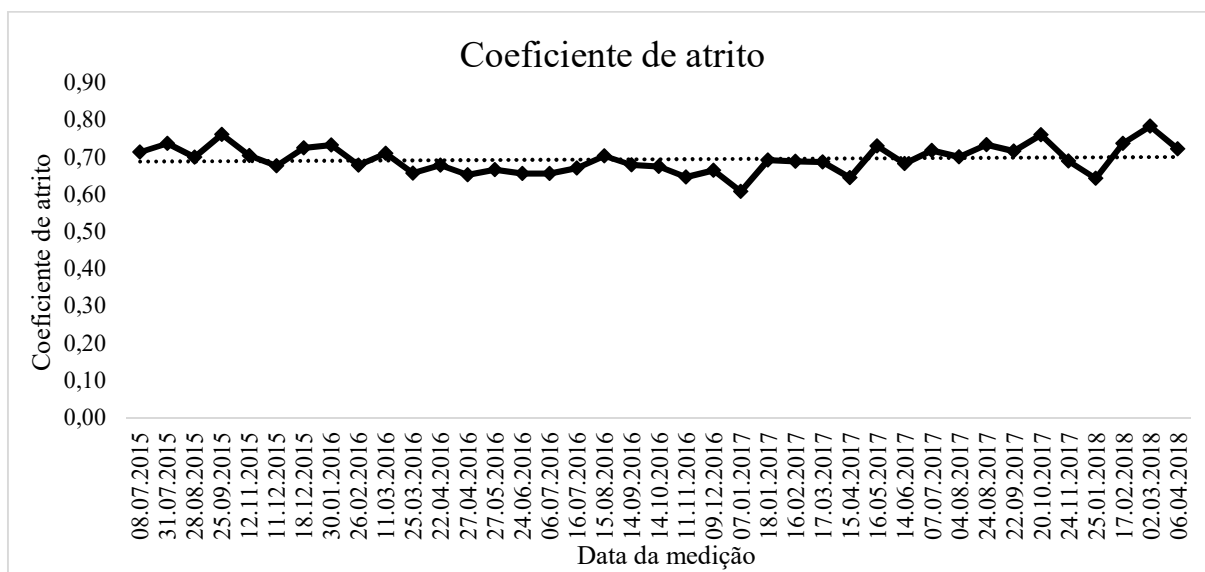


Figura 3: Resultados dos ensaios de coeficiente de atrito ao longo dos anos.

Analisou-se também os resultados da profundidade da macrotextura em relação aos terços da pista de pouso e decolagem. Conforme os resultados expressos na Tabela 7 e na Figura 4, percebe-se que o primeiro terço, correspondente à cabeceira mais solicitada apresenta, em média, os menores valores desse parâmetro, seguido da outra cabeceira, pois esta também apresenta um volume significativo de operações. A cabeceira mais solicitada tem apresentado em torno de 100 operações diárias, enquanto que a outra tem apresentado 50, no período analisado.

Tabela 7: Resultados de macrotextura por terço da pista de pouso e decolagem.

Data da medição	Profundidade da mancha de areia (mm)		
	1º Terço	2º Terço	3º Terço
21.08.2015	1,28	2,17	1,48
16.10.2015	1,14	2,57	1,35
11.12.2015	1,15	1,85	1,48
05.02.2016	1,40	2,16	1,26
22.03.2016	1,36	2,46	1,46
21.05.2016	1,44	2,47	1,47
20.07.2016	1,35	2,86	1,56
14.09.2016	1,38	2,78	1,39
09.11.2016	1,51	2,68	1,53
07.01.2017	1,19	2,48	1,36
11.05.2017	1,23	2,71	1,50
06.07.2017	1,41	2,22	1,35
24.08.2017	1,36	2,74	1,48
19.10.2017	1,46	3,07	1,49
23.12.2017	1,49	2,37	1,43
02.03.2018	1,82	3,06	1,76

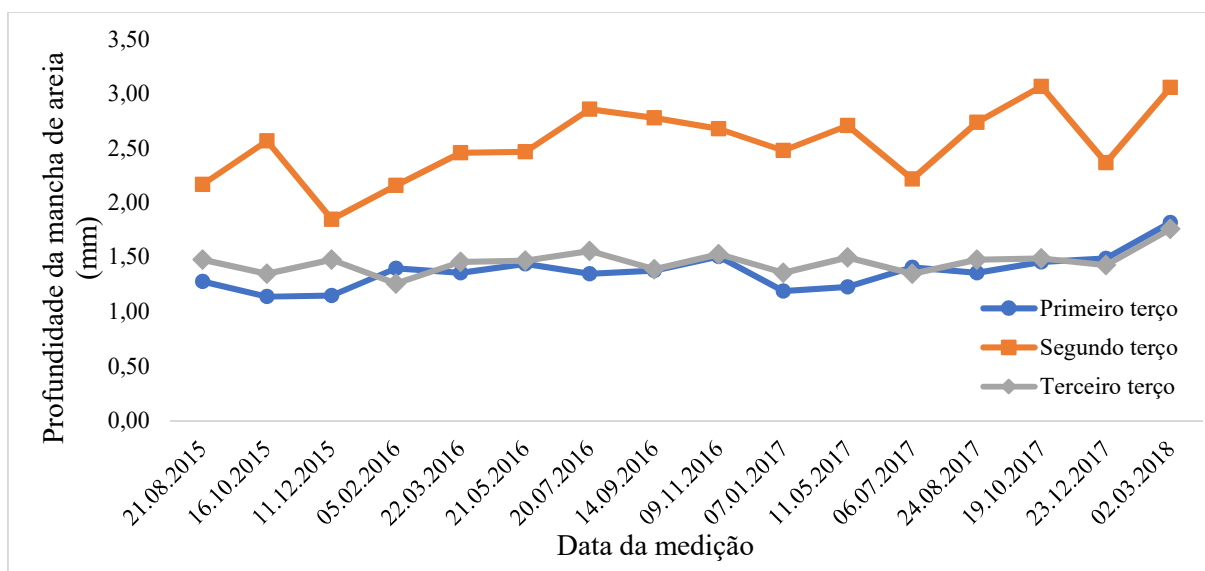


Figura 4: Desenvolvimento da macrotextura por terços.

O que se apresenta na Tabela 7 tem resultado semelhante ao que Santos (2004) encontrou para o coeficiente de atrito em relação à localização dos maiores e menores dados do parâmetro analisado ao longo da pista. Provavelmente tais condições são decorrentes do maior polimento dos agregados nas cabeceiras de maior movimento, o qual se dá pelas recorrentes operações em uma mesma direção na PPD.

Quanto aos níveis de emborrachamento, o primeiro terço apresentou 3 resultados classificados como altamente emborrachados, 12 emborrachados e 1 levemente emborrachado. Para o segundo terço, encontrou-se 1 resultado levemente emborrachado e os demais praticamente sem borracha. Por fim, para o terceiro terço constatou-se a presença de 15 resultados classificados como emborrachados e 1 levemente emborrachado. Diante disso, o primeiro terço é mais crítico quando se analisa o quesito presença de borracha na PPD.

Analisando os dados de coeficiente de atrito separadamente por lados, conforme expresso na Tabela 8 e Figura 5, percebe-se que o lado esquerdo (LE) é, em média, um pouco superior ao lado direito (LD). De acordo com um teste de hipótese realizado, cuja hipótese nula representa o lado esquerdo ser menor ou igual ao lado direito e a hipótese alternativa representa o lado esquerdo ser maior que o lado direito, para um nível de significância de 5 %, encontrou-se um valor P de 0,018. Portanto, rejeita-se a hipótese nula de que o LE é menor ou igual ao LD.

Tabela 8: Resultados de coeficiente de atrito divididos por lado.

Data da medição	Coeficiente de atrito		Data da medição	Coeficiente de atrito	
	LE	LD		LE	LD
08.07.2015	0,72	0,71	11.11.2016	0,66	0,63
31.07.2015	0,76	0,72	09.12.2016	0,66	0,67
28.08.2015	0,71	0,69	07.01.2017	0,64	0,57
25.09.2015	0,77	0,76	18.01.2017	0,72	0,67
12.11.2015	0,72	0,69	16.02.2017	0,70	0,68
11.12.2015	0,70	0,66	17.03.2017	0,68	0,69
18.12.2015	0,74	0,71	15.04.2017	0,64	0,65
30.01.2016	0,73	0,74	16.05.2017	0,76	0,70
26.02.2016	0,69	0,67	14.06.2017	0,69	0,68
11.03.2016	0,74	0,68	07.07.2017	0,74	0,70
25.03.2016	0,67	0,64	04.08.2017	0,68	0,72
22.04.2016	0,71	0,65	24.08.2017	0,74	0,73
27.04.2016	0,67	0,64	22.09.2017	0,74	0,70
27.05.2016	0,66	0,67	20.10.2017	0,78	0,75
24.06.2016	0,65	0,66	24.11.2017	0,72	0,66
06.07.2016	0,66	0,65	25.01.2018	0,67	0,62
16.07.2016	0,69	0,66	17.02.2018	0,72	0,75
15.08.2016	0,69	0,72	02.03.2018	0,79	0,78
14.09.2016	0,69	0,67	06.04.2018	0,70	0,74
14.10.2016	0,69	0,67			

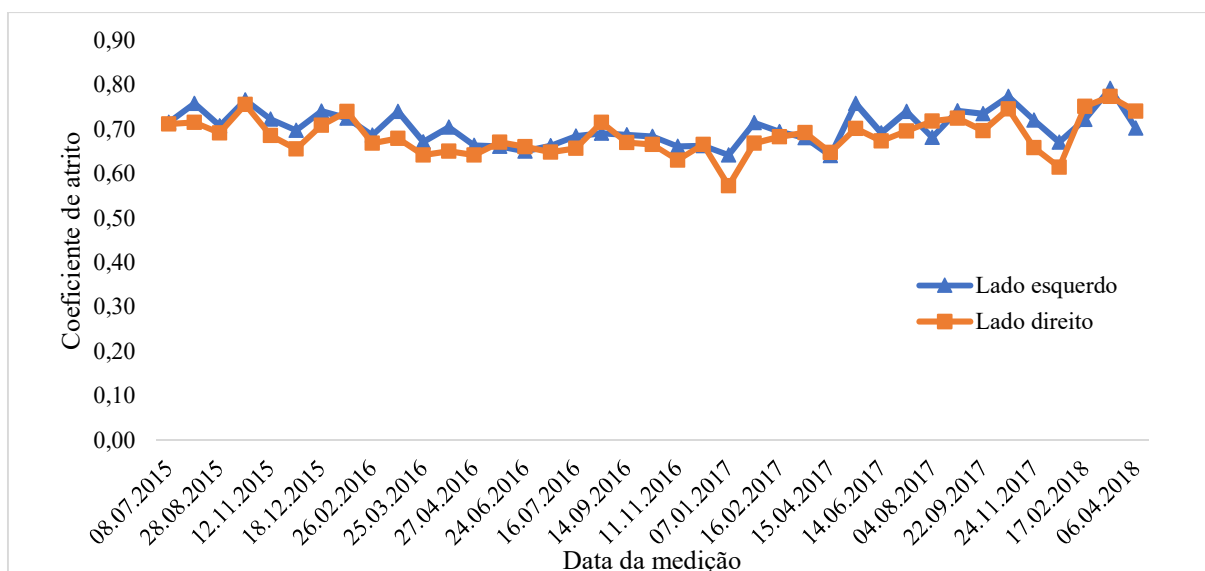


Figura 5: Dados de coeficiente de atrito ao longo do tempo e por lado.

Em seguida, verificou-se a possível correlação entre os parâmetros a partir de dados de 28 medições, sendo 14 de coeficiente de atrito e 14 de macrotextura. Para tanto, escolheram-se os

ensaios de cada parâmetro que tivessem as datas de medição mais próximas, a fim de que os resultados pudessem analisar o revestimento sob as condições mais semelhantes possíveis. No caso de células com duas datas, lê-se que a primeira representa a medição do coeficiente de atrito e a segunda, a macrotextura, conforme expresso na Tabela 9.

As colunas LE e LD apresentam os resultados da correlação da macrotextura e do coeficiente de atrito para o lado esquerdo e direito da pista, respectivamente. A terceira e última coluna verificam a significância da correlação realizada, através do valor P. De acordo com os resultados, nota-se que a maioria das correlações foram negativas. No entanto, apenas 3 podem ser consideradas significativas, pois apresentaram valores P abaixo do nível de significância adotado, 5 %, para o teste de hipótese realizado, cuja hipótese nula representa que a correlação apresenta valor 0 e a hipótese alternativa indica que é diferente de zero. Tais resultados são corroborados por estudos de Bezerra Filho e Oliveira (2013) e Pinheiro Neto *et al.* (2015) em que não se encontrou relação significativa entre tais parâmetros.

Tabela 9: Resultados de correlação entre macrotextura e coeficiente de atrito.

Data da medição	LE	Valor P	LD	Valor P
28.08.2015	-0,38	0,53	-0,49	0,41
21.08.2015				
11.12.2015	-0,19	0,75	-0,88	0,05
30.01.2016				
05.02.2016	-0,71	0,18	-0,42	0,48
25.03.2016				
22.03.2016	-0,68	0,20	-0,71	0,18
27.05.2016				
21.05.2016	-0,65	0,23	-0,40	0,50
16.07.2016				
20.07.2016	-0,01	0,99	-0,37	0,54
14.09.2016	-0,88	0,05	0,05	0,94
11.11.2016				
09.11.2016	-0,05	0,93	-0,52	0,37
07.01.2017	-0,08	0,90	-0,09	0,89
16.05.2017				
11.05.2017	-0,19	0,75	0,43	0,47
07.07.2017				
06.07.2017	-0,22	0,73	-0,33	0,59
24.08.2017	-0,49	0,40	-0,07	0,91
20.10.2017				
19.10.2017	0,28	0,65	0,03	0,97
02.03.2018	-0,90	0,04	0,23	0,71

5. CONCLUSÕES

De maneira geral, percebeu-se, pelos dados analisados, que a Camada Porosa de Atrito da pista analisada proporcionou adequadas condições de segurança às operações de pousos e decolagens. Isso porque os parâmetros de macrotextura e de coeficiente de atrito encontrados ao longo do tempo de análise foram sempre superiores ao valor mínimo recomendado (e, por consequência, ao nível de manutenção). Tais resultados indicam a utilização da Camada Porosa de Atrito como um revestimento apropriado para pistas de pouso e decolagem. Todavia, é recomendável, em pavimentos aeroportuários, analisar outros parâmetros tais como presença de irregularidades, fadigas, desgastes e custos de manutenção em relação a outras opções, como o *grooving*.

Notou-se ainda que a macrotextura apresentou uma tendência de crescimento no período analisado, porém, estatisticamente não é possível afirmar que tal fenômeno venha ocorrendo devido à variância relativamente alta para esse parâmetro. No que tange à análise da macrotextura em terços da pista, percebeu-se que as cabeceiras apresentaram os menores valores, principalmente o primeiro terço, devido às operações de toque das aeronaves nos pousos ocorrerem com maior frequência nessa região.

O coeficiente de atrito apresentou pouca variação ao longo do período estudado, sendo verificadas apenas variações cíclicas, devido aos serviços de manutenção periódica (remoção de acúmulo de borracha), na pista de pouso e decolagem para o reestabelecimento do nível mínimo exigido. Em relação à análise dos lados da PPD, notou-se que o lado esquerdo apresentou resultados um pouco superiores ao lado direito. Além disso, constatou-se que, em geral, não há correlação entre os parâmetros estudados.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) pela disponibilização dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANAC (2016) *Instrução Suplementar IS nº 153.205-001 - Orientações para execução do ensaio volumétrico tipo mancha de areia e para elaborar relatórios de medição de condições operacionais*. Agência Nacional de Aviação Civil. Brasília, DF.
- ANAC (2018) *Resolução nº 464, de 22 de fevereiro de 2018 - Aprova a Emenda nº 02 ao Regulamento Brasileiro da Aviação Civil nº 153*. Agência Nacional de Aviação Civil. Brasília, DF.
- Bernucci, L. B., Mota, L. M. G., Cerati, J. A. P. e Soares, J. B. (2008) *Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros*. Petrobras. Abeda, Rio de Janeiro, RJ.
- Bezerra Filho, C. I. e Oliveira, F. H. L. (2013) *Análise da Correlação entre a Macrotextura e o Coeficiente de Atrito em Pavimentos Aeroportuários*. In: XXVII – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET. Novembro de 2013. Belém, Pará.
- BSI (2000) *Surface friction of pavements - Part 2: Test method for measurement of surface skid resistance using the Griptester break wheel fixed slip device*. British Standard International. Inglaterra.
- DECEA (2015) *Anuário estatístico de tráfego aéreo*. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Rio de Janeiro, RJ.
- DECEA (2017) *Anuário estatístico de tráfego aéreo*. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Rio de Janeiro, RJ.
- DNER (1999) ES 386/99 *Pavimentação - pré-misturado a quente com asfalto polímero - camada porosa de atrito*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem Rio de Janeiro, RJ.
- ICAO (2002) *Manual de servicios de aeropuertos. Parte 2. Estado de la superficie de los pavimentos. Cuarta edición*. Organización de Aviación Civil Internacional. Lima, Peru.
- Lugão, W. G., (2008) *Análise da aderência entre pneu e pavimento com Camada Porosa de Atrito no Aeroporto Internacional Tancredo Neves – MG*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- Oliveira, F. H. L. (2016) *Desenvolvimento de um modelo de gerenciamento de pavimentos aeroportuários como apoio à tomada de decisão sobre estratégias de manutenção e reabilitação*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.
- Pinheiro Neto, J. C., Oliveira, F. H. L. e Aguiar, M. F. P (2015) *Análise da correlação linear de parâmetros de aderência em pavimentos aeroportuários: estudo de caso do Aeroporto Internacional Pinto Martins*. *Anais da 44ª Reunião Anual de Pavimentação*, 44a RAPV, Foz do Iguaçu, Paraná.
- Rodrigues Filho, O. S. (2006) *Características de Aderência de Revestimentos Asfálticos Aeroportuários – Estudo de caso do Aeroporto Internacional de São Paulo/Congonhas*. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.
- Wells, A. T. e Young, S. B. (2011) *Airport Planning & Management* (6ª ed.). Ed. McGraw-Hill. New York, EUA.

- Huang, Y. H. (2004) *Pavement analysis and design*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Santos, E. L., (2004) *Análise Histórica de Medição de Atrito das Pistas do Aeroporto Santos Dumont – RJ*. Trabalho de Graduação. Centro Técnico Aeroespacial. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, SP.

José Breno Ferreira Quariguasi (brenoquariguasi@det.ufc.br)

Lucas Cavalcante de Almeida (lucascavalcante@det.ufc.br)

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

Departamento de Engenharia de Transportes, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, 60020-181, Fortaleza, CE.

Lucius de Albuquerque Prado (lucius.prado@anac.gov.br)

Agência Nacional de Aviação Civil, Brasília/DF