



44ª RAPv | **18º ENACOR**
44ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO | 18º ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA
4ª Expopavimentação
Os caminhos da integração. O maior evento rodoviário do País.
18 a 21 de agosto de 2015. Hotel Bourbon. Foz do Iguaçu. PR

44ª RAPv – REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO E 18º ENACOR – ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA

Foz do Iguaçu, PR – 18 a 21 de agosto de 2015

ANÁLISE DA PROFUNDIDADE MÉDIA DA MACROTEXTURA E COEFICIENTE DE ATRITO DOS PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

Francisco Heber L. de Oliveira¹; Saulo P. Ramos²; Lucas C. de Almeida³; Marcos Fabio P. de Aguiar⁴; Ernesto F. Nobre Junior⁵

RESUMO

A segurança é prioridade nas operações de pousos e decolagens das aeronaves. Por isso, deve ser despendida uma atenção especial às condições de aderência pneu-pavimento nas pistas dos aeroportos. O coeficiente de atrito e a macrotextura são os principais parâmetros mensurados para realizar a avaliação das condições de aderência dos pneus das aeronaves nos pavimentos em questão. Dessa forma, este trabalho objetiva avaliar as condições de aderência das pistas de pouso e decolagem dos aeroportos de Fortaleza, Juazeiro do Norte, Aracati e Petrolina, todos no Nordeste do Brasil, além de fazer uma comparação entre elas através da análise dos dois parâmetros supracitados. A metodologia empregada para a execução desse trabalho consistiu na análise dos resultados dos ensaios obtidos junto à Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO), fundamentado nas referências bibliográfica presentes nesse artigo. Como resultado, concluiu-se que os aeroportos analisados oferecem boas condições de segurança para as operações de pousos e decolagens.

Palavras-chave: aeroporto, pavimento, macrotextura, coeficiente de atrito, aderência pneu-pavimento.

ABSTRACT

Security is priority in takeoffs and landings of aircraft. So, should be given special attention to the conditions of tire-pavement grip on the slopes of the airports. The coefficient of friction and macrotexture are the main parameters measured to perform the evaluation of adhesion of tyres of the aircraft in the flooring in issue. Thus, this work aims to evaluate the adhesion of takeoff and landing from airports of Fortaleza, Juazeiro do Norte, Aracati and Petrolina, all in northeastern Brazil, besides making a comparison between them through the analysis of the two parameters above. The methodology employed for the execution of this work consisted in the analysis of the test results obtained by the Brazilian Company of Airport Infrastructure (INFRAERO), based on bibliographic references present in this article. As a result, it was concluded that the airports examined offer good security conditions for takeoffs and landings.

Keywords: airport pavement macrotexture, coefficient of friction, tire-pavement grip.

¹ Professor Auxiliar – Universidade de Fortaleza. Email: heber@unifor.br

² Aluno de Pós-Graduação – Universidade Federal do Ceará Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes. Email: saulo@det.ufc.br

³ Aluno de Graduação – Universidade de Fortaleza. Email: lucasceara00@gmail.com

⁴ Professor Auxiliar – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE Email: marcosfpa@gmail.com

⁵ Professor Adjunto – Universidade Federal do Ceará Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes. Email: ernestonobrejr@gmail.com



INTRODUÇÃO

De acordo com o Anuário do Transporte Aéreo (ANAC, 2013) com os dados estatísticos e econômicos de 2013, a demanda doméstica do transporte aéreo de passageiros mais que triplicou entre 2004 e 2013, com alta de 203% e um crescimento médio de 13,1% ao ano no período.

Já para voos internacionais, ainda segundo ANAC (2013), tendo o Brasil como origem ou destino, o aumento da demanda foi de 106,4% no mesmo período com um crescimento médio anual de 8,4%. Foi registrado um aumento de 165% no número de passageiros nos últimos 10 anos, alcançando os 109,2 milhões em 2013. Desses, quase 90 milhões de passageiros em voos domésticos e 19,2 milhões em voos internacionais. McKinsey (2010), em seus estudos sobre o transporte aéreo brasileiro, fez uma projeção para 146 milhões de passageiros nos 20 principais aeroportos brasileiros em 2014 e 312 milhões, até 2030.

Assim, para manter o ritmo acelerado de oferta e prestação de serviços, os complexos aeroportuários devem garantir a qualidade e a segurança dos transportes de cargas e passageiros. Segundo Oliveira (2009), as condições da infraestrutura relacionadas à movimentação das aeronaves no solo interferem fortemente na segurança e no funcionamento dos aeroportos.

De acordo com Bernucci *et al* (2007), as condições de aderência, mensurada através do coeficiente de atrito e da profundidade média da macrotextura, dos pavimentos aeroportuários são os critérios analisados para a avaliação da superfície do pavimento e indicam a necessidade de manutenções nas pistas de pouso e decolagem.

Conforme a definição de Duarte (2011), a macrotextura caracteriza-se pela profundidade média dos espaçamentos entre as partículas de agregado. Assim, são formados canalículos entre os topos dos agregados, que possibilitam o escoamento da água sobre o revestimento e se tornam um dos principais elementos de drenagem superficial. Conforme Wells e Young (2004), nos pavimentos de aeroportos, o atrito da superfície das pistas permite a aceleração e frenagem das aeronaves durante os processos de decolagem e pouso respectivamente.

A situação dos pavimentos das pistas de pouso e decolagem, de taxiamento e dos pátios de manobra de qualquer aeroporto, quando está com as condições de aderências pneu-pavimento depreciadas, tornam arriscadas as operações das aeronaves e de seus equipamentos, comprometendo a segurança dessas e de todos direta ou indiretamente ligados às operações aeronáuticas. Entende-se por envolvidos nessas operações os passageiros, os tripulantes, os operadores de voo e demais funcionários do complexo aeroportuário e os moradores circunvizinhos das pistas em questão.

Essa infraestrutura aeroportuária tende, naturalmente, à situação de degradação dos seus pavimentos, haja vista que está sujeita às operações de pouso e decolagens das aeronaves, além das variações das condições climáticas. Por isso, os operadores dos aeroportos devem priorizar as práticas de monitoramento, manutenção e reabilitação dos pavimentos em questão para garantir o máximo de segurança durante as operações.

Conforme as estatísticas apresentadas no sumário de acidentes em operações a jato em aeronaves comerciais ocorridas entre 1959 e 2013 (BOEING, 2013), 8% dos acidentes fatais ocorreram durante a fase de voo das aeronaves e 25%, no pouso.

De acordo com o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA, 2014), instituição vinculada ao Ministério da Defesa brasileiro, dos acidentes que envolveram aeronaves,



15,14% ocorreram na fase de pouso; 6,69% ocorreram na fase de corrida após o pouso; e 18,40% na fase de decolagem, totalizando 457 acidentes em solo.

Para evitar a ocorrência desses acidentes, a solução é investir na manutenção da infraestrutura dos aeroportos, especialmente nas pistas de pouso e decolagem, onde foram registrados dois dos três maiores índices de acidentes, conforme CENIPA (2014).

Ainda segundo CENIPA (2014), dos acidentes que envolveram aeronaves, 15,14% ocorreram na fase de pouso; 6,69% ocorreram na fase de corrida após o pouso; e 18,40% na fase de decolagem, totalizando 457 acidentes em terra

Para a entidade governamental americana Federal Aviation Administration (FAA, 2007), a manutenção é um processo contínuo e uma responsabilidade crítica dos administradores dos aeroportos. Dessa forma, planos de manutenção eficazes requerem uma série de inspeções previamente programadas e avaliações periódicas, realizadas por engenheiros experientes, técnicos ou pessoal de manutenção.

A situação dos pavimentos das pistas de pouso e decolagem, de taxiamento e dos pátios de manobra de qualquer aeroporto, quando está com as condições de aderências pneu-pavimento depreciadas, tornam arriscadas as operações das aeronaves e de seus equipamentos, comprometendo a segurança dessas e de todos direta ou indiretamente ligados às operações aeronáuticas.

Esse trabalho se propõe a realizar uma análise comparativa dos valores obtidos da profundidade média da macrotextura e coeficiente de atrito nos aeroportos de Fortaleza, Aracati, Juazeiro do Norte e Petrolina, situado no estado de Pernambuco, todos localizados na região Nordeste do Brasil.

METODOLOGIA

Será feita uma revisão bibliográfica com base nas normas estabelecidas pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), manuais, resoluções, além de livros, artigos, teses e dissertações para verificar o estado da arte no tocante às condições de aderência em pavimentos aeroportuários.

Em seguida, será feito um levantamento sobre as definições e características de textura superficial, macrotextura e coeficiente de atrito com os devidos parâmetros estabelecidos pela Resolução 236 da ANAC.

Os dados da profundidade média da macrotextura e dos coeficientes de atrito foram obtidos através de ensaios de medição desses parâmetros realizados nas pistas de pouso e decolagem pelos operadores dos aeroportos de Fortaleza, Juazeiro do Norte, Aracati e Petrolina e foram cedidos pela Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO).

Finalmente, a análise será realizada através dos relatórios de obtenção dos dados anteriormente mensurados e fornecidos pela INFRAERO.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Conforme Bernucci *et al* (2007), a aderência pneu-pavimento em pistas molhadas é o resultado da ação de vários fatores. Dentre eles, a textura superficial do revestimento e as características dos pneus (ranhuras, pressão de inflação, dimensões e tipo) são essenciais para a garantia da segurança nas pistas.



Bernucci *et al* (2007) afirmam que as condições de aderência dos pavimentos dos aeroportos, representadas pela profundidade da macrotextura e atrito, são fundamentais para que se promova a avaliação da situação das superfícies e que se decida sobre as manutenções.

Apesar de não serem rotineiros os procedimentos para a realização da medição da segurança nas rodovias brasileira, em aeroportos, as avaliações dos parâmetros relacionados à segurança devem ser realizados com a frequência determinada pela ANAC (2012). Isso se deve ao fato de as condições de aderência de pavimentos aeroportuários representarem fatores de grande relevância nas avaliações de superfície e na decisão de manutenções, principalmente nas pistas de pouso e decolagem (BERNUCCI *et al*, 2007).

Segundo Lima Junior *et al* (2012), o atrito nas pistas muda ao longo do tempo, em função de sua utilização, das condições climáticas e das práticas de manutenções adotadas. Contaminantes, como resíduos de borracha e água, causam diminuição do atrito nas superfícies das pistas aeroportuárias, em grandes extensões, principalmente nas zonas de toque.

De acordo ANAC (2012), a microtextura e a macrotextura são os critérios que, de fato, permitem avaliar a textura da superfície do pavimento. A primeira é aferida na superfície e aspereza dos agregados e a última, na rugosidade formada pela mistura agregado e mástique asfáltico. A Figura 1 apresenta um corte feito na superfície de um revestimento asfáltico no qual se observa a microtextura e a macrotextura.

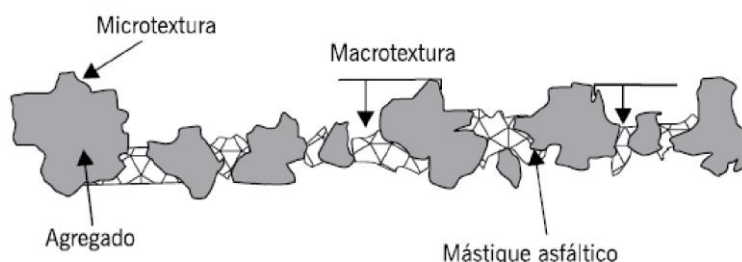


Figura 1. Microtextura e macrotextura na superfície de um revestimento asfáltico (asfalto e agregados finos).
BERNUCCI *et al* (2007)

Macrotextura em pavimentos aeroportuários

De acordo com Rodrigues Filho (2006), a macrotextura é caracterizada pelo tamanho dos agregados e pelos vazios entre eles na mistura asfáltica. Um pavimento que apresenta alta macrotextura possui agregados graúdos, cujo topo normalmente está acima da linha média da superfície e que gera grande volume de espaços vazios entre as partículas mais próximas. Por isso, é a principal responsável pela drenagem em superficial da água da chuva.

Para a ANAC (2012), a profundidade média da macrotextura é obtida pela média aritmética das profundidades da macrotextura para cada terço da pista de pouso e decolagem em operação. Esse índice em pavimentos aeroportuários deve ser mantido com valor maior ou igual a 0,60mm para a pista em questão.

A ANAC(2012) recomenda que sejam feitas pelo menos três medições de profundidade de macrotextura e que seja obtida a média delas a cada 100m a partir da cabeceira mais utilizada da pista. Essa quantidade de medições será maior sempre que forem encontrados defeitos no



pavimento que comprometam o resultado do procedimento. Os ensaios devem ser realizados a 3m do eixo da pista à direita e à esquerda alternadamente.

Segundo Rodrigues Filho (2006), a macrotextura exerce grande influência no fenômeno da hidroplanagem dinâmica, que ocorre pelo fato de o pneu não conseguir expulsar totalmente a água da área de contato com pavimento durante o tempo da passagem da roda. As superfícies cuja profundidade da macrotextura são menores, ou seja, fechadas estão mais suscetíveis a esse fenômeno mesmo que para pequenos valores da espessura da lâmina de água. Isso se deve ao fato de que, em estruturas abertas, há a formação de pequenos canais que facilitam a drenagem da água para fora da área de contato pneu-pavimento.

Por interferir diretamente no atrito, qualquer alteração na superfície que promova fechamento da textura é prejudicial para a segurança das operações (Oliveira, 2009), como a presença de contaminantes no revestimento. A FAA (2007) considera como contaminantes borracha acumulada devido aos pousos e decolagens das aeronaves, óleo derramado na pista, querosene, além de outros produtos químicos que possam comprometer a integridade do pavimento.

Oliveira (2009) afirma que a borracha oriunda dos pneus das aeronaves é o contaminante identificado com maior frequência. Assim, essa substância altera significativamente a textura superficial e, dessa forma, as propriedades de aderência pneu-pavimento.

De acordo com Bernucci *et al* (2007), o desgaste moderado do pavimento pode causar melhoria na macrotextura, pois a perda de mástique e a consequente exposição das pontas dos agregados fazem com que os canais formados entre os agregados possibilitem maior vazão superficial.

Coefficiente de atrito em pavimentos aeroportuário

A ANAC (2012) especifica o nível de manutenção e nível mínimo do coeficiente de atrito para cada equipamento medidor desse índice ao trabalharem a 65Km/h ou 95 Km/h e para cada uma dessas velocidades há um respectivo nível mínimo e nível de manutenção de coeficiente de atrito.

O valor do coeficiente de atrito em nível de manutenção é aquele abaixo do qual devem ser iniciadas ações visando restabelecer o coeficiente de atrito em nível maior ou igual ao indicado na resolução. E por valor de atrito em nível mínimo “aquele abaixo do qual a pista de pouso e decolagem, quando molhada, pode comprometer o desempenho de frenagem das aeronaves em solo” (ANAC, 2012).

Ainda em conformidade com ANAC (2012), o valor do coeficiente de atrito é obtido através da “média aritmética dos valores obtidos para cada extensão de 100m (cem metros), considerando lado e distância de medição em relação ao eixo da pista de pouso e decolagem”.

ESTUDO DE CASO

Serão apresentados os dados referentes ao coeficiente de atrito e profundidade média de macrotextura das últimas medições do ano de 2013 para os aeroportos de Fortaleza, Juazeiro do Norte e Petrolina e dados de uma medição realizada em 2014 no aeroporto de Aracati. Todos os relatórios de medição foram fornecidos pela (INFRAERO).



Dados dos aeroportos

A Tabela 1 apresenta as principais características físicas e operacionais de cada um dos aeroportos em questão. Todos os dados referentes ao exercício de 2013 (INFRAERO, 2013a).

Tabela 1. Dados dos Aeroportos

AEROPORTO / CLASSIFICAÇÃO	OPERAÇÃO ANUAL DE POUSO E DECOLAGEM (2013)	QUANT. DE PASSAGEIROS EM 2013	CARGA EM 2013 (KG)	PISTA POUSO/DECOLAGEM	TIPO DE REVESTIMENTO
				COMPRI-MENTO x LARGURA (m)	
Fortaleza/[I]	66.814	5.952.629	39.388.885	2.545 x 45	Flexível
Juazeiro do Norte/[R]	7.378	387.990	1.482.077	1.940 x 45	Flexível
Petrolina/[I]	7.396	473.483	5.097.639	3.250 x 45	Flexível
Aracati/[R]	-	-	-	1800 x 30	Flexível
[I] – Internacional				[R] – Regional	

Fonte: adaptado de INFRAERO (2013)

Critério de seleção dos aeroportos no nordeste brasileiro

Os aeroportos escolhidos tem diferentes perfis de uso, sendo o de Fortaleza utilizado por 5.952.629 de passageiros em 2013 e o de Juazeiro do Norte com 6,52% do número de passageiros do aeroporto de Fortaleza. O aeroporto Petrolina, em 2013, apresentou número de passageiros próximo ao de Juazeiro do Norte, mas é muito utilizado por aeronaves cargueiras. A pista de Aracati ainda não tinha sido utilizada até o momento da medição das condições de atrito.

O aeroporto de Fortaleza foi submetido em 2012 à intervenção para a restauração total do revestimento da pista de pouso e decolagem. O aeroporto de Juazeiro do Norte apresenta ainda o revestimento original e que é mantido apenas com operações leves, como as de remoção de borracha, assim como o de Petrolina.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A seguir, serão apresentados os dados referentes à profundidade média de macrotextura e ao coeficiente de atrito de cada um dos aeroportos objetos desse artigo obtidos pelo método de mancha de areia e uso do equipamento Grip Tester, respectivamente.

Os dados referentes obtidos foram cedidos pela INFRAERO através dos relatórios de medição da profundidade média de macrotextura e do coeficiente de atrito, cujos respectivos ensaios foram executados em conformidade a ANAC (2012).

Segundo ANAC (2012), o valor de 0,60mm para a profundidade média de macrotextura conforme mencionado anteriormente serão destacados nos gráficos pela linha horizontal



As avaliações dos coeficientes de atrito dos pavimentos realizados nos aeroportos de Fortaleza, Juazeiro do Norte, Aracati e Petrolina foram executadas utilizando-se o equipamento *Grip Tester* à velocidade de 65Km/h, conforme os relatórios de medição de atrito e macrotextura disponibilizados pela INFRAERO. Nessa configuração, os valores de coeficiente de atrito regulamentados são 0,43 para o nível mínimo e 0,53 para nível de manutenção (ANAC, 2012). Esses parâmetros estão em conformidade com ICAO (2013) e FAA (2007).

Profundidade média da macrotextura

A Tabela 2 apresenta os valores da profundidade média da macrotextura fornecidos pela INFRAERO.

O gráfico da Figura 2 apresenta os valores da profundidade média de macrotextura das pistas de pouso e decolagem dos aeroportos constantes neste artigo construídos com a média para cada terço conforme o recomendado por ANAC (2012).

Para o aeroporto de Fortaleza, apesar de a média ter ficado bem acima do valor mínimo de 0,60mm, a 400m e 500m do início da cabeceira 13 da pista os valores da profundidade média da macrotextura são, respectivamente, 0,67mm e 0,60mm, conforme a Tabela 2. Esse último, exatamente no limite estabelecido por ANAC (2012). Isso se deve muito provavelmente ao acúmulo de borracha oriundo do pneu das aeronaves por serem nesses pontos os onde ocorrem os toques dos pneus das aeronaves nas pistas nas operações de do pouso.

É importante salientar o menor valor para o último terço da pista de pouso e decolagem do aeroporto de Fortaleza. Isso se deve ao fato de esse trecho ser utilizado para a execução de manobras das aeronaves para saída da referida pista em direção ao pátio de estacionamento. Além disso, a operação para remoção de borracha da pista é executada somente entre o 1º e 2º terço da pista, onde é mais acentuada a contaminação do pavimento.

A pista do aeroporto de Fortaleza nem sempre apresentou esse comportamento. De acordo com Oliveira (2009) e Bezerra Filho (2012), os ensaios para aferição da profundidade da macrotextura realizados entre os anos de 1990 e 2012 registraram em várias medições que o primeiro terço da pista de pouso e decolagem desse aeroporto apresentou valores da profundidade média de macrotextura menor em relação aos outros dois.

Segundo Bezerra Filho (2012), em agosto de 2011, foi iniciada a obra de recuperação total do revestimento asfáltico da pista de pouso e decolagem do aeroporto Internacional de Fortaleza que teve seu término em setembro de 2012. Somado à manutenção da pista de pouso e decolagem, as operações para a remoção de borracha dessa pista, segundo Cavalcante (2012), foram realizadas com um novo equipamento bem mais produtivo e eficiente que o anterior. O resultado disso é a obtenção de valores da profundidade da macrotextura superiores no primeiro terço da pista em relação ao demais.

Conforme a Tabela 2, a pista de pouso e decolagem do aeroporto de Juazeiro do Norte, nos últimos 100m dessa pista a profundidade da macrotextura obtida pelo ensaio ficou muito próxima do mínimo, 0,62mm. Isso se deve a uma possível falta de manutenção ou qualquer técnica de conservação ou reabilitação que melhore as condições funcionais da pista. Além disso, deve ser considerado o próprio envelhecimento do revestimento asfáltico e a utilização desse trecho para a execução das manobras de retorno das aeronaves.



Tabela 2. Valores da profundidade média da macrotextura dos aeroportos

	FORTALEZA		JUAZEIRO DO NORTE		ARACATI		PETROLINA		
	E	D	E	D	E	D	E	D	
0	0,98		0,87			0,74		0,61	0
100		0,96		1,04	0,75		0,64		100
200	0,95		1,00			0,86		0,74	200
300		0,96		1,02	0,8		0,68		300
400	0,67		1,30			0,85		0,72	400
500		0,6		1,35	0,78		0,82		500
600	1,06		1,15			0,78		0,66	600
700		1,01		1,23	0,78		0,8		700
800	0,98		1,21			0,75		0,85	800
900		0,86		1,08	0,77		0,61		900
1000	0,88		1,08			0,74		0,6	1000
1100		0,83		1,20	0,79		0,64		1100
1200	0,95		1,17			0,66		0,7	1200
1300		0,79		0,99	0,84		0,73		1300
1400	1		0,78			0,73		0,86	1400
1500		0,92		0,81	0,86		0,95		1500
1600	0,79		1,06			0,71		0,82	1600
1700		0,78		0,81			0,93		1700
1800	0,87		0,62					0,74	1800
1900		0,82					0,66		1900
2000	0,82							0,64	2000
2100		0,8					0,74		2100
2200	0,85							0,76	2200
2300		0,81					0,79		2300
2400	0,7							0,93	2400
2500		0,74					0,85		2500
2600								0,88	2600
2700							0,84		2700
2800								0,73	2800
2900							0,67		2900
3000								0,66	3000
3100							0,67		3100
3200								0,61	3200

Fonte: INFRAERO (2013b, 2013c, 2013d, 2014a)



É notório, pela observação do gráfico da Figura 2, que os valores médios da macrotextura nos três terços da pista de pouso e decolagem do aeroporto de Aracati estão com valores muito próximos entre si. Isso deve ao fato de a medição ter sido executada sem qualquer operação e o consequente desgaste pelo tráfego de aeronaves. Além disso, deve ser considerada a uniformidade do traço da mistura asfáltica e a execução do revestimento da pista de pouso e decolagem desse aeroporto.

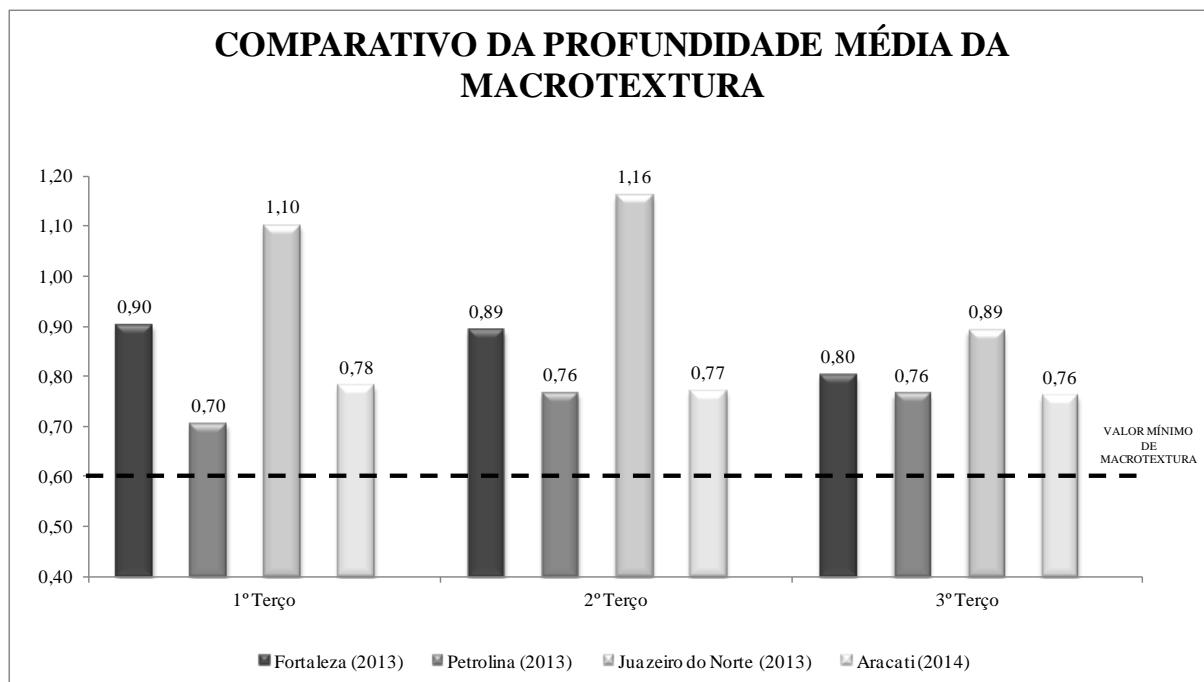


Figura 2. Valores da profundidade média da macrotextura de todos os aeroportos

Segundo Tabosa (2014), após as conclusões das obras de construção da pista de pouso e decolagem, o aeroporto de Aracati apresentou as condições inadequadas de macrotextura e por isso não foi liberado para uso. A pista de pouso e decolagem desse aeroporto foi submetida a um processo de hidrojateamento de alta pressão para a retexturização da superfície do pavimento. Após esse procedimento, foi realizado um novo ensaio de mancha de areia e os resultados obtidos estão apresentados no gráfico referente ao aeroporto de Aracati da Figura 2. A profundidade média da macrotextura para essa pista, apesar de esta não ter sido liberada para uso até o momento da medição, apresenta valores próximos do nível de manutenção.

A pista do aeroporto de Petrolina apresenta o primeiro terço com valor de profundidade média de macrotextura menor que os valores dos dois últimos, o que demonstra desgaste acentuado na textura dessa faixa da pista. Além desse trecho, ocorrem os baixos níveis de macrotextura também nos 900m, 1000m e 1100m da cabeceira. Nesse caso, esse evento se deve ao desgaste nessa pista por ser, nessa faixa da pista, onde ocorrem as frenagens das aeronaves durante as operações de pouso, além do desgaste provocado pelo tráfego

De acordo com a ANAC (2012), essas medições de profundidade de macrotextura devem ser realizadas sempre após uma manutenção da pista de pouso e decolagem. No aeroporto de Petrolina, mesmo após uma manutenção para a remoção de borracha, o primeiro terço apresentou menor valor em relação aos outros dois. Esse fenômeno se deve, muito possivelmente, a um desgaste nessa região da pista devido o uso e ao envelhecimento da pista. Assim, para elevar os valores médios da



profundidade de macrotextura, faz-se necessária uma manutenção mais severa, como uma retexturização, assim como foi feito em Aracati em 2014, ou um novo revestimento, como foi realizado no aeroporto internacional de Fortaleza em 2012.

O aeroporto de Aracati, mesmo sem uso, apresentou valores de profundidade média de macrotextura próximos aos encontrados na pista de pouso e decolagem do aeroporto de Petrolina. Essa situação ocorreu, possivelmente, por causa do traço do concreto asfáltico utilizado no revestimento da referida pista. Nesse caso, há a possibilidade de a granulometria do agregado graúdo utilizado nesse revestimento ter sido inferior a que foi empregado no concreto asfáltico executado no aeroporto de Juazeiro do Norte.

Ainda que todas as pistas em uso tenham sido submetidas à manutenção através dos serviços de remoção de borracha, elas não apresentam o mesmo valor da profundidade média de macrotextura após a manutenção. Esse índice depende de outros fatores como o tempo de uso da pista, frequência de operações das aeronaves em solo, quantidade de chuvas, variações de temperatura, intervenções de manutenção e reabilitação da pista, tipos de aeronaves que operam na referida pista entre outros fatores.

Coefficiente de atrito dos aeroportos

Os dados da Tabela 3 referem-se à medição do coeficiente de atrito de todos os aeroportos analisados nesse trabalho.

Os gráficos da Figura 3 apresentam a variação do coeficiente de atrito ao longo das pistas de pouso e decolagem de todos os aeroportos objetos de estudo desse trabalho em pontos distantes 6m e 3m à esquerda e à direita do eixo da referida pista.



Tabela 3. Dados de coeficiente de Atrito

	FORTALEZA				JUAZEIRO DO NORTE		ARACATI		PETROLINA				
	E(6m)	D(6m)	E(3m)	D(3m)	E(3m)	D(3m)	E(3m)	D(3m)	E(6m)	D(6m)	E(3m)	D(3m)	
DISTÂNCIA DA CABECEIRA PRINCIPAL (m)	100	0,88	0,87	0,73	0,86	0,67	0,61	0,67	0,58	0,69	0,68	0,66	0,68
	200	0,85	0,90	0,72	0,86	0,73	0,74	0,67	0,64	0,72	0,79	0,69	0,75
	300	0,83	0,85	0,68	0,92	0,75	0,78	0,69	0,63	0,88	0,88	0,78	0,75
	400	0,85	0,83	0,52	0,91	0,76	0,77	0,67	0,66	0,87	0,81	0,68	0,70
	500	0,81	0,82	0,60	0,80	0,79	0,76	0,67	0,68	0,82	0,88	0,68	0,66
	600	0,85	0,90	0,70	0,84	0,77	0,70	0,69	0,67	0,84	0,88	0,73	0,69
	700	0,86	0,90	0,65	0,80	0,69	0,70	0,69	0,66	0,86	0,86	0,79	0,71
	800	0,87	0,91	0,68	0,80	0,64	0,68	0,66	0,68	0,80	0,71	0,74	0,68
	900	0,87	0,93	0,63	0,77	0,65	0,67	0,68	0,66	0,78	0,71	0,75	0,69
	1000	0,88	0,92	0,63	0,78	0,61	0,64	0,66	0,62	0,74	0,71	0,74	0,66
	1100	0,82	0,84	0,63	0,75	0,62	0,66	0,67	0,63	0,72	0,71	0,73	0,65
	1200	0,84	0,77	0,59	0,76	0,66	0,66	0,63	0,62	0,74	0,69	0,73	0,62
	1300	0,82	0,78	0,58	0,75	0,68	0,66	0,63	0,61	0,71	0,69	0,73	0,61
	1400	0,77	0,81	0,57	0,72	0,64	0,62	0,62	0,61	0,70	0,65	0,73	0,59
	1500	0,75	0,84	0,66	0,66	0,61	0,64	0,65	0,60	0,71	0,79	0,73	0,67
	1600	0,75	0,79	0,70	0,65	0,62	0,60			0,80	0,79	0,80	0,77
	1700	0,77	0,82	0,67	0,65	0,62	0,67			0,78	0,77	0,81	0,74
	1800	0,79	0,75	0,65	0,62					0,77	0,75	0,79	0,76
	1900	0,72	0,73	0,69	0,69					0,75	0,69	0,75	0,73
	2000	0,78	0,72	0,77	0,79					0,70	0,64	0,74	0,73
2100	0,79	0,74	0,70	0,78					0,70	0,63	0,73	0,68	
2200									0,64	0,64	0,69	0,72	
2300									0,63	0,63	0,64	0,70	
2400									0,65	0,64	0,69	0,67	
2500									0,66	0,63	0,67	0,67	
2600									0,63	0,61	0,67	0,62	

Fonte: INFRAERO (2013e, 2013f, 2013g, 2014b)

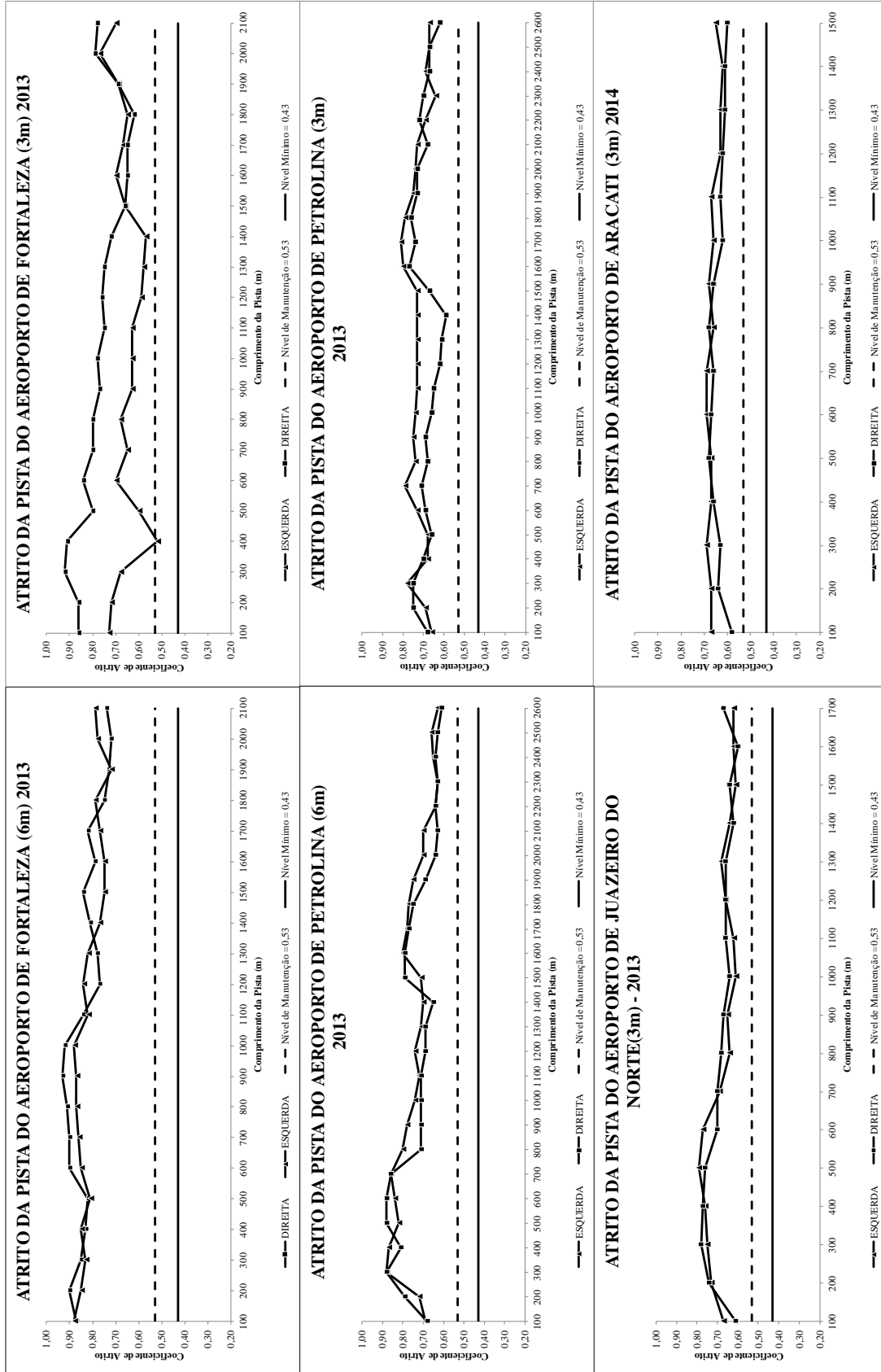


Figura 3. Gráficos do coeficiente de atrito



As medições do coeficiente de atrito da pista de pouso e decolagem do aeroporto de Fortaleza, Juazeiro do Norte e Petrolina foram realizadas, respectivamente, em novembro, março e outubro de 2013 e a, de Aracati, em março de 2014.

É perceptível que, em toda a extensão da pista de pouso e decolagem do aeroporto de Fortaleza a 6m do eixo da pista à direita e à esquerda, esta se apresenta eficiente quanto ao atrito, o que representa bons níveis de segurança para as operações de pouso e decolagem.

A pista do aeroporto de Fortaleza, em quase sua totalidade, apresenta valores de atrito maiores que 0,53 (valor do atrito para nível de manutenção), exceto aos 1900m da cabeceira principal. Isso se deve à última intervenção realizada na referida pista, ocorrida entre 2011 e 2012, na qual foi realizada uma reabilitação do revestimento asfáltico.

A 3m do eixo, a pista de pouso e decolagem do aeroporto de Fortaleza apresenta uma tendência de valores divergente dos demais aeroportos, nos quais as linhas do gráfico referente ao lado esquerdo e ao direito da pista apresentassem trajetórias com a mesma disposição, ainda que com valores diferentes.

Nessa pista, o lado esquerdo dessa pista apresenta valores de coeficiente de atrito inferiores aos valores obtidos nos ensaios realizados do lado direito até os 1500m da cabeceira principal. Isso pode ter como possíveis causas uma tendência das aeronaves de utilizar mais o lado esquerdo da pista ou falhas na execução do revestimento da faixa a esquerda do eixo da pista, haja vista que a obra de execução do novo revestimento asfáltico foi realizada em várias etapas entre agosto de 2011 e setembro de 2012, dificultando assim, a padronização do traço do concreto asfáltico e a compactação do revestimento.

Essa pista se apresenta como eficiente quanto coeficiente de atrito e oferece boas condições de segurança para as operações de pouso e decolagem a 3m e a 6m de distância do eixo para esquerda e para a direita.

A pista do aeródromo de Juazeiro do Norte também se apresenta eficiente quanto ao coeficiente de atrito e oferece boas condições de segurança para a execução das operações de pouso e decolagem das aeronaves em toda a sua extensão.

Essa pista cumpre as expectativas de tendência, valores do coeficiente de atrito próximos dos dois lados da pista. Observa-se que os valores do coeficiente de atrito até os 800m dessa pista são superiores aos demais da pista. Isso se deve ao fato de trecho ser o mais solicitado nas operações de pouso e decolagem e, por isso, é nele onde são realizadas as principais manutenções na pista, evidenciando a preocupação com a segurança nas operações das aeronaves em solo.

A pista de pouso e decolagem do aeroporto de Aracati apresenta valores próximos em toda a extensão da pista. Isso se deve ao fato de essa medição ter sido realizada antes de a pista ter sido liberada para uso pela ANAC em março de 2014. Provavelmente quando o mesmo for aberto ao tráfego, esses valores mensurados para coeficiente de atrito tenderão a diminuir devido ao desgaste provocado pelas operações das aeronaves.

Essa pequena variação de nos valores obtidos nos ensaios de medição de coeficiente de atrito se deve, possivelmente, aos fenômenos de contração e dilatação do revestimento asfáltico provocados pela amplitude térmica da região e ao modo de execução dos ensaios para a obtenção dos valores do coeficiente de atrito. Deve-se considerar também que uma possível homogeneidade da mistura na



execução do revestimento para se obter valores do coeficiente de atrito tão próximos toda a extensão da pista.

Para a pista de pouso e decolagem do aeroporto de Petrolina, observam-se os menores valores do coeficiente de atrito entre os 800m e 1400m a 6m do eixo da pista e a partir dos 1900m de distância da cabeceira da pista. Os baixos valores no intervalo entre os 800m e 1400m se deve ao fato de essa ser a região de toque nas operações de pouso das aeronaves.

Dessa forma, para alcançar maiores valores para o coeficiente de atrito se faz necessária uma intervenção mais severa, como uma retexturização, assim como foi feito em Aracati em 2014, ou um novo revestimento, como foi realizado no aeroporto internacional de Fortaleza em 2012. Assim, tendo as condições atuais da pista, as operações para remoção de borracha, muito provavelmente, não irão conseguir aumentar esses valores de coeficiente de atrito.

Assim como na análise dos 6m, os valores de atrito obtidos nos ensaios realizados aos 3m de distância do eixo da corrente pista do aeroporto de Petrolina, apresenta linhas com a mesma tendência. Isso representa solicitações de uso da pista semelhantes dos dois lados.

As pistas de pouso e decolagem do aeroporto de Juazeiro do Norte e Petrolina apresentaram valores de coeficiente de atrito superiores aos do lado esquerdo da pista de Fortaleza, muito provavelmente, devido ao traço do concreto asfáltico utilizado nessa região da referida pista do aeroporto de Fortaleza não tenha sido executado com os agregados graúdos da mesma granulometria que os do lado direito da mesma pista, ou a compactação do revestimento foi executado de maneira inadequada.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos dos coeficientes de atrito e profundidade média de macrotextura, foi possível concluir que as pistas de todos os aeroportos discutidos nesse trabalho oferecem boas condições de segurança às operações de pouso e decolagem das aeronaves.

Pela análise das tabelas e gráficos apresentados nesse trabalho, percebe-se a redução das condições de aderência nos trechos nos quais há acúmulo de borracha, desgaste do revestimento e falta de manutenção. Tal efeito foi observado no primeiro terço da pista de pouso e decolagem do aeroporto de Petrolina, cuja profundidade média de macrotextura e o coeficiente de atrito nesse trecho foi menor no primeiro terço. Nos demais aeroportos, o terceiro terço apresentou o menor valor para esse índice.

Por estar nesse 1º terço a zona de toque das aeronaves durante os pousos e por ser muito submetido a esforços durante as decolagens, este trecho da pista tende a apresentar desgaste mais acelerado e, por isso, são submetidos com maior frequência, quando comparada aos outros terços, a manutenções com o intuito de manter a pista em boas condições de segurança e aumentar seu tempo de vida útil.

É possível concluir que, mesmo com essas especificidades quanto ao uso, as pistas apresentam o níveis satisfatórios de drenagem superficial e, conseqüentemente, das condições de aderência pneu-pavimento. Isso se deve, principalmente, às manutenções realizadas em cada um delas. Essas manutenções podem ser do tipo preventiva, como uma operação de remoção de borracha na área crítica do acúmulo desse contaminante, ou corretiva simples, como a aplicação de um microrrevestimento, ou uma intervenção mais severa, a retirada do revestimento anterior e a execução de um novo.



REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANAC, 2012 – Resolução N°236 da Agência Nacional de Aviação Civil.

ANAC, 2013 - *ANUÁRIO DO TRANSPORTE AÉREO - Dados Estatísticos e Econômicos de 2013* - Brasília-DF, 25 de setembro de 2014. Disponível em <http://www2.anac.gov.br/arquivos/zip/anuario2013.zip> e acessado às 02h02 de 17 de dezembro de 2014

BERNUCCI, L. B., MOTA, L. M. G., CERATI, J. A. P. e SOARES, J. B. (2007) *Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros*. Petrobras. Abeda. Rio de Janeiro, RJ.

BEZERRA FILHO, C.I.F - *Análise da correlação entre o coeficiente de atrito e a macrotextura em pavimentos aeroportuários: estudo de caso do aeroporto internacional de Fortaleza* – Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Universidade de Fortaleza

BOEING, 2013 . *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide Operations 1959 – 2013*. Disponível em <http://www.boeing.com/news/techissues/pdf/statsum.pdf> às 18h50 de 17 de novembro de 2014

CAVALCANTE, P.C.L. (2012) - *Aspectos de um novo processo de remoção de borracha e das condições de atrito em pavimentos aeroportuários*. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade de Fortaleza. Fortaleza,

CENIPA, 2014 - Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos - *FCA 58-1 - Panorama Estatístico Da Aviação Civil Brasileira Em 2012*

DUARTE, J. P. S (2011) *Avaliação do COEFICIENTE DE ATRITO em Aeroportos Portugueses: O caso do Aeroporto de Lisboa*. Dissertação de Mestrado. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal.

FAA (2007) *Guidelines and Procedures for Maintenance of Airport Pavements*. Advisory Circular – AC 150/5380-6B. Federal Aviation Administration. United States Department of Transportation. Washington, DC.

ICAO (2013) - *Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation. Aerodrome Design and Operations. Volume I. 6th Edition. International Civil Aviation Organization*.

INFRAERO (2013a). *Movimento Operacional da REDE INFRAERO de Janeiro a Dezembro de 2013*. Disponível em <http://www.infraero.gov.br/images/stories/Estatistica/2013/dez.pdf> e acessado às 19h43 de 06 de setembro de 2014.

INFRAERO (2013b). Relatório de medição da macrotextura. Maio de 2013. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. Aeroporto Internacional Pinto Martins. Fortaleza, Ceará. 2013.

INFRAERO (2013c). Relatório de medição da macrotextura. Março de 2013. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. Aeroporto Orlando Bezerra de Menezes. Juazeiro do Norte, Ceará. 2013.

INFRAERO (2013d). Relatório de medição da macrotextura. Outubro de 2013. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. Aeroporto Senador Nilo Coelho. Petrolina, Pernambuco. 2013.

INFRAERO (2013e). Relatório de medição do coeficiente de atrito. Maio de 2013. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. Aeroporto Internacional Pinto Martins. Fortaleza, Ceará. 2013.

INFRAERO (2013f). Relatório de medição do coeficiente de atrito. Março de 2013. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. Aeroporto Orlando Bezerra de Menezes. Juazeiro do Norte, Ceará. 2013.

INFRAERO (2013g). Relatório de medição do coeficiente de atrito. Outubro de 2013. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. Aeroporto Senador Nilo Coelho. Petrolina, Pernambuco. 2013.



- INFRAERO (2014a). Relatório de medição da macrotextura. Maio de 2014. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. Aeroporto Dragão do mar. Aracati, Ceará. 2014.
- INFRAERO (2014b). Relatório de medição do coeficiente de atrito. Maio de 2014. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. Aeroporto Dragão do mar. Aracati, Ceará. 2014.
- MCKINSEY (2010) - McKinsey & Company, Estudo do Setor de Transporte Aéreo do Brasil Relatório consolidado. Disponível em http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/empresa/pesquisa/chamada3/relatorio_consolidado.pdf e acessado às 18h55 de 06 de setembro de 2014.
- 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. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 178 pág.
- OLIVEIRA F. H. L; LOIOLA, P. R. R.; BARROSO, S. H. A; NOBRE JUNIOR, E. F (2010). - *Análise Comparativa Entre Macrotexturas de Pavimentos Rodoviários e Aeroportuários no Estado do Ceará - 40ª RAPv – Reunião Anual de Pavimentação*, Rio de Janeiro, RJ.
- PALMA, G. e PRADO, A, L. (2011). *Considerações sobre a Formação de lâmina d'água em pistas de pousos e decolagem de aeroportos*.
- 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.
- Tabosa, R. A. A, 2014 - *Estudo do Comportamento da Aderência Pneu-Pavimento Aeroportuário em Função da Remoção de Borracha por Hidrojateamento a Alta Pressão – Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil*. Universidade de Fortaleza. Fortaleza, CE.