

## **VERIFICAÇÃO DA CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS DE ADERÊNCIA NAS PISTAS DE POUSOS E DECOLAGENS DOS AEROPORTOS DE FORTALEZA/CE, JUAZEIRO DO NORTE/CE E PETROLINA/PE**

**SAULO PASSOS RAMOS<sup>1\*</sup>, LUCAS CAVALCANTE DE ALMEIDA<sup>2</sup>, FRANCISCO HEBER LACERDA DE OLIVEIRA<sup>3</sup>, MARCOS FÁBIO PORTO DE AGUIAR<sup>4</sup>**

- 1 Mestrando em Engenharia de Transporte, UFC, Fortaleza-CE. Fone: (85) 98668.8008, saulo@det.ufc.br  
2 Graduando em Engenharia Civil, UNIFOR, Fortaleza-CE. Fone: (85) 3182.1876, lucas\_ceara@hotmail.com  
3 Mestre em Engenharia de Transportes – UNIFOR. Fone: (85) 3477.3161, heberoliveira@unifor.br  
4 Doutor em Geotecnia – UNIFOR / IFCE, Fortaleza-CE. Fone: (85) 3307.3666, marcosfpa@gmail.com

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC' 2015  
15 a 18 de setembro de 2015 - Fortaleza-CE, Brasil

**RESUMO:** A segurança das operações de pouso e decolagem, principalmente com aeronaves a jato em altas velocidades, tornam as características de aderência das pistas fatores importantes para a segurança de voo. A macrotextura e o coeficiente de atrito das pistas de pouso e decolagem são os parâmetros de aderência analisados pelos operadores de aeródromos no Brasil e em diversos outros países, conforme recomendações vigentes. Este trabalho tem como objetivo analisar a correlação entre esses dois parâmetros nas pistas de pousos e decolagens do Aeroporto Internacional Pinto Martins, localizado em Fortaleza, do Aeroporto Orlando Bezerra de Menezes, em Juazeiro do Norte, ambos no estado do Ceará, e do Aeroporto Senador Nilo Coelho, em Petrolina, no estado de Pernambuco, entre os anos de 2013 e 2014. Verifica-se que a correlação entre a macrotextura e o coeficiente de atrito pode ser considerada insatisfatória, em virtude de uma grande variação nos valores analisados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Correlação, aderência, pavimentos, aeroportos.

### **VERIFICATION OF CORRELATION EXISTENCE BETWEEN THE PARAMETERS OF GRIP ON RUNWAY AT FORTALEZA INTERNATIONAL AIRPORT**

**ABSTRACT:** The safety of takeoff and landing operations, especially with jet aircraft at high speeds, make the grip characteristics of the important factors clues to flight safety. The macrotexture and the coefficient of friction of runways are the parameters of grip analyzed by aerodrome operators in Brazil and in several other countries, according to the recommendations current. This paper aims to analyze the correlation between these two parameters in landings and takeoffs slopes of the Pinto Martins International Airport, located in Fortaleza, Orlando Bezerra de Menezes Airport, in Juazeiro do Norte, both in the state of Ceará, and Senator Nilo Coelho Airport, in Petrolina, in the state of Pernambuco, between 2013 and 2014. It is found that the correlation between the macrotexture and the coefficient of friction can be considered unsatisfactory because of a wide variation in the values analyzed.

**KEYWORDS:** Correlation, grip, pavements, airports.

### **INTRODUÇÃO**

O crescimento urbano desordenado fez com que áreas antes reservadas para o aumento das pistas fossem diminuídas ou mesmo perdidas, as aeronaves modernas, maiores e mais rápidas, precisam pousar em pistas pequenas, onde a manutenção das condições superficiais passa a ser um dos principais auxílios ao processo de frenagem. A falta ou a inadequada manutenção nos pavimentos

aeroportuários proporciona, para Oliveira (2009) e Ramos (2014), um menor contato pneu-pavimento, uma maior distância frenagem, o que aumenta a probabilidade de derrapagem das aeronaves.

Por isso, é inevitável que a drenagem superficial seja eficiente e a aderência pneu-pavimento seja a máxima possível. Como consequência, reduzir-se-iam os acidentes e incidentes sobre essas pistas. Estatísticas da Boeing (2014) mostram que, de 2002 a 2013, 10% dos acidentes fatais envolvendo aeronaves ocorreram durante as fases de decolagem. Quando se somou as estatísticas de acidentes fatais durante os pousos nessa mesma época, a porcentagem atingiu cerca de 20%.

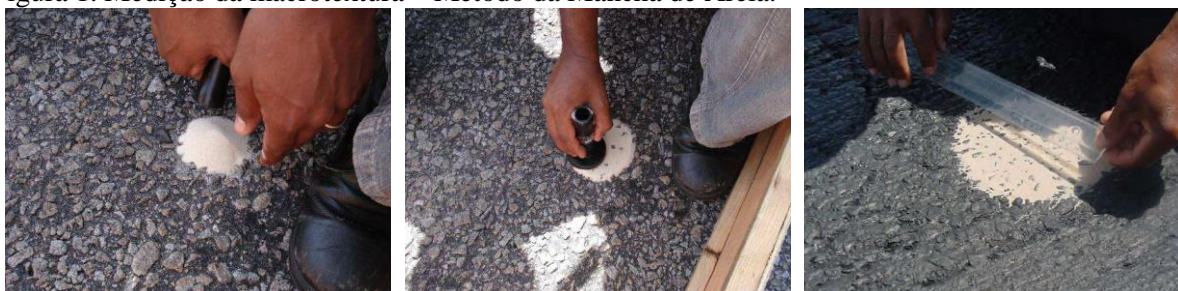
Diante deste cenário, as atividades de manutenção e reabilitação dos pavimentos aeroportuários devem ser realizadas de maneira que as características de macrotextura e de coeficiente de atrito atendam às exigências legais necessárias para a segurança das operações. Nesse sentido, este trabalho objetiva analisar a existência de correlação entre os valores de macrotextura e do coeficiente de atrito de pistas de pouso e decolagem. Para melhor fundamentar a análise, utilizar-se-iam os dados de ensaios realizados nos aeroportos de Fortaleza, de Juazeiro do Norte, ambos no estado do Ceará, e no Aeroporto de Petrolina, no estado de Pernambuco, entre os anos de 2013 e 2014.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados nesta pesquisa foram obtidos seguindo as recomendações da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2012), através de ensaios realizados em 2013 e de 2014, cedidos pela Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO), operadora dos aeródromos.

A medição da macrotextura foi realizada através do método da mancha de areia, que consiste no espalhamento de um volume conhecido de areia com granulometria especificada sobre uma área do revestimento do pavimento. Essa mancha forma um círculo, para o qual se deve determinar a média dos diâmetros em três posições distintas, conforme indicação da Figura 1. A profundidade da macrotextura é determinada mediante a divisão do volume de areia pela área do círculo formado após o espalhamento da areia.

Figura 1. Medição da macrotextura – Método da Mancha de Areia.



Para a medição do coeficiente de atrito foi utilizado um equipamento de medida contínua, a exemplo do apresentado na Figura 2, com reboque atrelado a um veículo automotor que pode ser usado tanto no inverno como no verão. O reboque tem uma estrutura soldada apoiada por três rodas em linha. As duas rodas laterais são para garantir a estabilidade do conjunto do reboque e a roda intermediária, para fazer as medições do coeficiente de atrito.

Figura 2. Medição do coeficiente de atrito – *Skiddometer*.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fundamentado nos dados obtidos dos ensaios, foram calculados, para cada relatório emitido pela

INFRAERO, os respectivos coeficientes de correlação linear ( $R^2$ ) entre o coeficiente de atrito e a profundidade média da macrotextura para trechos distantes a 3,0m e a 6,0m do eixo das pistas de pouso e decolagem, tanto do lado direito (LD) quanto do lado esquerdo (LE), nos anos de 2013 e 2014. A Tabela 1 apresenta o resumo dos resultados.

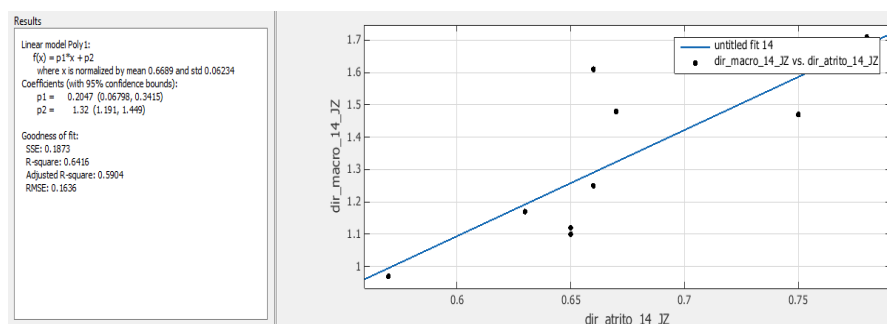
Tabela 1. Coeficientes de correlação ( $R^2$ )

Aeroporto	LE-2013	LE-2014	LE-2013/2014	LD-2013	LD-2014	LD-2013/2014
Fortaleza/CE	0,0011	0,1753	0,0520	0,0265	0,0079	0,0001
Juazeiro do Norte/CE	0,2354	0,1068	0,0915	0,1081	0,6416	0,2647
Petrolina/PE	0,0036	0,0032	0,0003	0,0594	0,0058	0,0620

Verificam-se pelos valores apresentados na Tabela 1 que, de um modo geral, as correlações entre os parâmetros são variadas e consideradas de fracas a moderadas. Supõe-se que, pelas diferenças nas metodologias de ensaios para obtenção dos dados de macrotextura e de coeficiente de atrito, uma grande variação nas correlações geradas é observada.

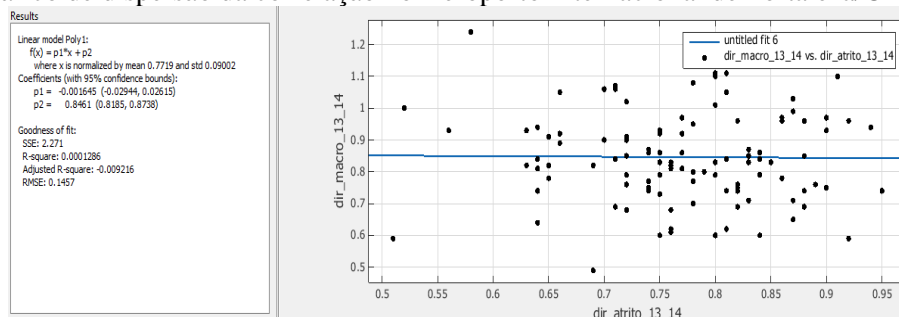
A maior correlação encontrada, de 0,6416, está localizada no lado direito (LD) da pista de pouso e decolagem do Aeroporto de Juazeiro do Norte/CE, em 2014. Apesar disso, quando se analisa o gráfico da correlação gerado pelo *software* Matlab e apresentado na Figura 3, em que no eixo das ordenadas estão os dados de macrotextura e no eixo das abscissas, o coeficiente de atrito, nota-se uma grande dispersão dos poucos pontos existentes.

Figura 3. Gráfico de dispersão da correlação no Aeroporto de Juazeiro do Norte/CE.



A correlação é praticamente inexistente no lado direito (LD) da pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional de Fortaleza/CE, nos anos de 2013 e 2014. O gráfico de dispersão correspondente está na Figura 4. Apesar de uma maior quantidade de pontos correlacionados quando comparados aos da Figura 3, o coeficiente de correlação linear resultou em apenas 0,0001.

Figura 4. Gráfico de dispersão da correlação no Aeroporto Internacional de Fortaleza/CE.



Os aeroportos de Fortaleza/CE e Petrolina/PE apresentam as menores correlações linear e as menores variações entre os parâmetros (com  $R^2$  de 0,0001 a 0,1753). A segunda menor correlação linear, com  $R^2$  igual a 0,0003, está no lado esquerdo (LE), nos anos de 2013 e 2014, em Petrolina. Ressalte-se que esses aeroportos operam aeronaves de grande porte, de aviação internacional e cargueira.

Por sua vez, o Aeroporto de Juazeiro do Norte/CE tem os maiores valores de coeficiente de correlação linear ( $R^2$ ) e, também, as maiores variações, com valores de  $R^2$  variando entre 0,0915 a 0,6416. Esse aeroporto opera pousos e decolagens, na sua maioria, de aeronaves de pequeno a médio porte com voos nacionais e regionais.

Os motivos para as fracas correlações lineares encontradas nas avaliações do presente artigo podem ter inúmeras causas. Tende-se a acreditar, sobretudo pelos estudos de Bezerra Filho e Oliveira (2013), que a principal causa para essa fraca correlação seja a imprecisão da avaliação da macrotextura, uma vez que se trata de uma metodologia pontual e manual. Diferentemente, a avaliação do coeficiente de atrito é realizada linearmente ao longo de todo o comprimento das pistas de pousos e decolagens, utilizando-se um equipamento mecanizado e automático.

Além disso, questões relacionadas à temperatura ambiente, ao tipo de revestimento da pista, às quantidades de operações de pousos e decolagens, aos tipos de trens de pousos das aeronaves que utilizam essas pistas e às calibrações dos equipamentos de medição podem, também, interferir nas correlações dos parâmetros. Ramos (2014) afirma, ainda, que devem ser levados em considerações fatores como as declividades longitudinais e transversais da pista, além das deformações que favoreçam o acúmulo de água na superfície do pavimento, tais como os afundamentos localizados, que comprometem as medidas de macrotextura e coeficiente de atrito.

A existência de fracas correlações lineares, porém, não significa a ausência de relação entre o coeficiente de atrito e a macrotextura, pois, conforme observado por Sousa (2008), pode haver outras relações distintas da correlação linear.

## CONCLUSÕES

Diante dos dados apresentados e analisados ao longo deste trabalho, bem como visitas em campo, percebe-se que uma boa macrotextura não necessariamente gera um bom coeficiente de atrito.

Foram encontradas de moderadas a fracas correlações lineares. Ainda assim, sugere-se, para estudos posteriores, a avaliação da influência que o coeficiente de atrito pode sofrer pela macrotextura em associação com avaliações de microtextura, para a busca de uma correta interação entre as três variáveis.

Portanto, para o amadurecimento da ideia da busca por relações matemáticas e estatísticas, entre as variáveis de aderência de pavimentos aeroportuários, é proposto, para trabalhos posteriores, o estudo dessas variáveis, na inferência de outros tipos de correlação, assim como a inserção da avaliação de microtextura para a busca da influência que esta e a macrotextura podem gerar no coeficiente de atrito.

## REFERÊNCIAS

- ANAC. Resolução nº 236, de 05 de junho de 2012. Estabelece requisitos de aderência para pistas de pouso e decolagem. Agência Nacional de Aviação Civil. Disponível em <<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/resolucao/2012/RA2012-0236.pdf>>. 2012
- BOEING. Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents. Worldwide Operations 1959-2013. Boeing Commercial Airplanes. Seattle, Washington, 2014.
- Bezerra Filho, C. I.; Oliveira, F.H.L. de. Análise da correlação entre a macrotextura e o coeficiente de atrito em pavimentos aeroportuários. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – ANPET, 27, Belém, 2013.
- Oliveira, F. H. L. de. Proposição de Estratégias de Manutenção de Pavimentos Aeroportuários Baseadas na Macrotextura e no Atrito: Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza. 2009. 203 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
- Ramos, S. P. Análises das condições de aderência dos pavimentos aeroportuários do Nordeste brasileiro. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2014.
- Sousa, A. Coeficiente de Correlação Linear de Pearson. Outubro de 2008. Disponível em <[http://www.aurea.uac.pt/pdf\\_MBA/coef\\_correl\\_Pearson.pdf](http://www.aurea.uac.pt/pdf_MBA/coef_correl_Pearson.pdf)>. Acessado em 05/07/2014.