



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIENCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

**AVALIAÇÃO DA PISTA DE POUSO E DECOLAGEM DO AEROPORTO
INTERNACIONAL DE MANAUS/EDUARDO GOMES**

ALEXANDRE DA SILVA LEOCADIO

MANAUS

2014



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIENCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

ALEXANDRE DA SILVA LEOCADIO

**AVALIAÇÃO DA PISTA DE POUSO E DECOLAGEM DO AEROPORTO
INTERNACIONAL DE MANAUS EDUARDO GOMES**

Orientadora: Prof.^a Dra. Consuelo Alves da Frota

MANAUS

2014

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

L576a Leocadio, Alexandre da Silva
Avaliação da pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional de Manaus / Alexandre da Silva Leocadio. 2014
108 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Consuelo Alves da Frota
Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Pista de pouso e decolagem. 2. Medição de atrito. 3. Macrotextura. 4. Aeroporto Eduardo Gomes. I. Frota, Consuelo Alves da II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

ALEXANDRE DA SILVA LEOCADIO

**AVALIAÇÃO DA PISTA DE POUSO E DECOLAGEM DO AEROPORTO
INTERNACIONAL DE MANAUS EDUARDO GOMES**

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Ciência e
Engenharia de Materiais para obtenção
do Título de Mestre em Engenharia de
Materiais.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Consuelo Alves da Frota
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dra Ana Maria Guerra Seráfico Pinheiro
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Puspitapallab Chaudhuri
Universidade Federal do Amazonas

À Alex Sandra, Arthur, Heitor e Helena.
Aos meus Pais Remédio e Graciene.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, que em sua grande misericórdia nos deu condições de chegarmos ao final desse curso.

A Alex Sandra minha esposa, pelo incentivo nos momentos mais difíceis ajudando a sair da inércia nas primeiras linhas deste trabalho devido ao seu vasto conhecimento na docência.

Aos meus filhos Arthur, Heitor e Helena por promoverem momentos de muita alegria e prazer nas horas mais estressantes.

Aos meus pais Remédio e Graciene, pois sem eles nada disso seria possível.

Aos meus irmãos Angelo, André e Andrea pelo incentivo constante durante o decorrer do trabalho.

A prof.^a. Dra. Consuelo Alves da Frota, pela orientação, enorme paciência, compreensão nos momentos difíceis, pelos conselhos para a vida e por ter contribuído substancialmente para o meu crescimento acadêmico.

Ao Major Hotta, pelos “bizus”.

A INFRAERO, pelo apoio incondicional nas pesquisas de campo.

Por fim, deixo o meu agradecimento a todos aqueles que cruzaram o nosso caminho, professores, colegas, amigo, pois certamente a troca de experiência, e principalmente a amizade que foi cultivada, é o que podemos levar de mais precioso, e o que coroa o nosso trabalho.

Meu reconhecimento a todos.

Muito obrigado.

RESUMO

O transporte aéreo é um dos setores mais dinâmicos da economia mundial, pois a crescente demanda comercial estimula a indústria aeronáutica a produzir aeronaves maiores e com maior capacidade, aptas a transportar cada vez mais passageiros e cargas, com maior rapidez e segurança. A evolução do mencionado setor impacta diretamente a relação entre o pneu e o pavimento das pistas dos aeroportos, porquanto, em se tratando de segurança, as operações de pouso e decolagem são os procedimentos mais críticos de um voo. Dessa forma, a manutenção dessas estruturas é de suma importância para se evitar a ocorrência de acidentes. Um dos meios de monitoramento e de manutenção desse pavimento faz-se por meio da medição de atrito e macrotextura. O presente trabalho analisa os índices médios de atrito obtidos a partir de relatórios emitidos pelo equipamento *Griptester* e as profundidades de macrotextura, por intermédio do ensaio da mancha de areia da pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional de Manaus/Eduardo Gomes (AM). Esse aeródromo constitui-se o principal da Região Norte, em virtude da sua importância econômica, ao viabilizar a exportação de produtos de alto valor agregado oriundos da produção do Polo Industrial de Manaus (PIM). Os resultados indicam que, apesar da sua alta demanda do movimento de aeronaves, os índices de atrito e macrotextura mantiveram-se em um nível considerado seguro. Esses fatores são resultados das ações de manutenção do pavimento, tais como o desemborrachamento e a recomposição da camada defeituosa, além de constantes treinamentos das equipes responsáveis.

ABSTRACT

Air transport is one of the most dynamic sectors of the world economy as the growing commercial demand stimulates the aircraft industry to produce larger and more capable aircraft, able to carry more and more passengers and cargo, with greater speed and safety. The evolution of the mentioned sector directly impacts the relationship between the tire and the pavement of the airport runways because, when it comes to security, operations, takeoff and landing are the most critical procedures for a flight. Thus, the maintenance of these structures is of paramount importance to prevent the occurrence of accidents. A means of monitoring and maintenance of the pavement is done by friction measuring and macrotexture. This paper analyzes the average ratios of friction obtained from reports issued by Griptest equipment and macrotexture depths through the sand patch test on the Runway of Manaus International Airport / Eduardo Gomes (AM). This airfield constitutes the main Northern Region, because of its economic importance, by allowing the export of high value added arising from the production of the Industrial Pole of Manaus (PIM). The results indicate that, despite its high demand of aircraft movement, the friction index and macrotexture remained at a level considered safe. These factors are the result of the actions of pavement maintenance, such as taking rubber off and the recovery of the defective layer, and constant training of the responsible teams.

Lista de Figuras

Figura 1 – Aeroporto de Le Bourget – Paris	16
Figura 2 – Aeronave DC-4 Douglas	17
Figura 3 – Tapley Airfield Friction Meter.....	19
Figura 4– Aeroporto Internacional de Manaus/ Eduardo Gomes.....	22
Figura 5 – Previsão de movimentos de passageiros SBEG.....	23
Figura 6 – Pavimento em Concreto Asfáltico – SBEG	26
Figura 7 – Pista do Aeroporto Santos Dumont – revestimento em CPA	28
Figura 8 – Pista do Aeroporto Internacional de Pequim – revestimento em SMA	30
Figura 9 - Aplicação de <i>Gap Graded</i> em pistas de aeroporto	31
Figura 10 – Textura do revestimento em PA.....	33
Figura 11 – Ilustração simplificada de várias escalas de textura de um dado pavimento	36
Figura 12– Influencia da textura do comprimento de onda na interação pneu-pavimento	36
Figura 13 - Tipos de superfícies de atrito.....	38
Figura 14 – Mecanismo de interação pneu-pavimento.....	39
Figura 15– Efeito da textura do pavimento no coeficiente de atrito.	41
Figura 16 – Efeito da pista molhada e da pista seca sobre o coeficiente de atrito μ para aeronaves 880jet.	42
Figura 17 – Deslocamento da água pelo pneu de acordo com o conceito das 3 zonas.	44
Figura 18 – Diagrama simplificado das forças agindo sobre uma roda em movimento.	47
Figura 19 – Características básicas de atrito, o Sistema dinâmico e o sistema de resposta.	48
Figura 20– Método Mancha de Graxa.....	51
Figura 21 – Perfilômetro a laser.	52
Figura 22– Drenômetro LTP – USP.....	53
Figura 23 – Pêndulo Britânico.....	54
Figura 24– Dynamic FrictionTester.	55
Figura 25– <i>Mu-meter</i> MK-6.	56
Figura 26 – <i>Mu-meter</i> MK-6 – Desenho Esquemático.....	56

Figura 27 – Adhera.....	57
Figura 28 – ASFT T-10.	58
Figura 29– <i>Skiddometer BV-11</i>	59
Figura 30– Pista de Pouso e Decolagem do SBEG	60
Figura 31– Materiais auxiliares do ensaio MA.	61
Figura 32 – <i>GripTester</i>	62
Figura 33 – Conjunto medidor de atrito (detalhe do reservatório no canto direito superior).....	63
Figura 34 – <i>Software Airbase</i>	63
Figura 35– Sequencia do ensaio da Mancha de Areia.....	65
Figura 36 – Locação dos pontos de ensaio da macrotextura	66
Figura 37– Equipamento removedor de borracha	68
Figura 38– Fluxo emitido pelo sistema de rega.....	71
Figura 39 – Distancia do percurso durante a medição de atrito.	71
Figura 40- Coleta de temperatura com utilização de aparelho termovisor.....	73
Figura 41 – Totais de pousos por cabeceira no período de 2011 a junho de 2014.....	74
Figura 42 – Perfil longitudinal da macrotextura, mês de abril/2012.	75
Figura 43 - Perfil longitudinal da macrotextura, mês de julho/2012.....	75
Figura 44 - Perfil longitudinal da macrotextura, mês de outubro/2012.	76
Figura 45 - Perfil longitudinal da macrotextura, mês de janeiro/2013.....	77
Figura 46- Perfil longitudinal da macrotextura, mês de abril/2013.....	77
Figura 47- Perfil longitudinal da macrotextura, mês de julho/2013.....	78
Figura 48 - Perfil longitudinal da macrotextura, mês de outubro/2013	78
Figura 49- Perfil longitudinal da macrotextura, mês de janeiro/2014.....	79
Figura 50- Perfil longitudinal da macrotextura, mês de abril/2014.....	79
Figura 51 - Perfil longitudinal da macrotextura, mês de julho/2014.....	80
Figura 52 - Perfil longitudinal consolidado, meses de abril, julho e outubro/2012.	81
Figura 53 - Perfil longitudinal consolidado, meses de janeiro, abril, julho e outubro/2013.	82
Figura 54- Perfil longitudinal consolidado, meses de janeiro, abril e julho/2014.....	82
Figura 55 - Perfil longitudinal dos índices de atrito, mês de abril/2012.	83
Figura 56- Perfil transversal dos índices de atrito, mês de abril/2012.	84
Figura 57 - Perfil longitudinal dos índices de atrito, mês de abril/2012.	84

Figura 58 - Perfil transversal dos índices de atrito, mês de julho/2012.....	85
Figura 59 - Perfil longitudinal dos índices de atrito, mês de outubro/2012.	85
Figura 60- Perfil transversal dos índices de atrito, mês de outubro/2012.	86
Figura 61 - Perfil longitudinal dos índices de atrito, mês de janeiro/2013.....	87
Figura 62- Perfil transversal dos índices de atrito, mês de janeiro/2013.....	87
Figura 63- Perfil longitudinal dos índices de atrito, mês de abril/2013.	88
Figura 64 - Perfil transversal dos índices de atrito, mês de abril/2013.	88
Figura 65- Perfil longitudinal dos índices de atrito, mês de julho/2013.	89
Figura 66- Perfil transversal dos índices de atrito, o mês de julho/2013.	89
Figura 67- Perfil longitudinal dos índices de atrito, mês de abril/2013.	90
Figura 68- Perfil transversal dos índices de atrito, mês de julho/2013.	90
Figura 69 - Perfil longitudinal dos índices de atrito, mês de janeiro/2014.....	91
Figura 70- Perfil transversal dos índices de atrito, mês de janeiro/2014.....	92
Figura 71- Perfil longitudinal dos índices de atrito, mês de abril/2014.	92
Figura 72- Perfil transversal dos índices de atrito, mês de abril/2014.	93
Figura 73- Perfil longitudinal dos índices de atrito, mês de julho/2014.	93
Figura 74- Perfil transversal dos índices de atrito, mês de abril/2014.	94
Figura 75 - Perfil longitudinal consolidado, índices de atrito dos meses de abril, julho e outubro/2012.....	94
Figura 76- Perfil longitudinal consolidado, índices de atrito dos meses de janeiro, abril, julho e outubro/2013.....	95
Figura 77- Perfil longitudinal consolidado, índices de atrito dos meses de janeiro, abril e julho /2014.	96
Figura 78- Linha temporal evolutiva no período 2012-2014	97

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Características de atrito em pistas pavimentadas, contaminadas com neve ou gelo. . .	21
Tabela 2 – Complexo aeroportuário de Manaus.....	24
Tabela 3. – Requisitos a serem satisfeitos pela mistura asfáltica	27
Tabela 4 – Classificações típicas dos cinco tipos de asfalto em termos de propriedades de engenharia (1 = pobre, 5 = bom)	32
Tabela 5 – Hidroplanagem: total e parcial, modelo das três zonas.	45
Tabela 6 – Classificação do índice de atrito.	50
Tabela 7. – Características físicas da PPD de SBEG	60
Tabela 8 – Classificação da Macrotextura pela profundidade média – T	67
Tabela 9 – Frequência das medições de macrotextura	67
Tabela 10 – Frequência das medições de atrito.....	69
Tabela 11 – Localização das medições de atrito.	71
Tabela 12 – Parâmetros de coeficiente de atrito por tipo de equipamento de medição.	72

Lista de Siglas

ALACPA	Asociación Latino Americana Y Caribeña de Pavimentos Aeroportuarios
ANAC	Agencia Nacional de Aviação Civil
ASFT	Airport Surface Friction Tester
ASTM	American Society for Testing and Materials
BITA	Boletim de Indicadores de Transportes Aéreos
BPN	British Number Pendulum
C.B.U.Q.	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CAL	Coeficiente de Atrito Longitudinal
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CAP 683	Regulamento da Aviação Civil do Reino Unido
CAT	Coeficiente de Atrito Transversal
CPA	Camada Porosa de Atrito
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DC-4	Modelo de Avião Comercial da Douglas
DFT	Dynamic Friction Tester
DIRENG	Diretoria de Engenharia da Aeronáutica
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagem
EAP	Emulsão Asfáltica de Petróleo
FACTS	Free Alignment Chain Tyres Suspension
FIA	Federação Internacional de Automobilismo

FW	Friction Wheels
GN	Grip Number
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
IFI	International Friction Index
IMA	Índice Médio de Atrito
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
MPD	Mean Profile Depth
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program
NITRR	National Institute for Transport and Road Research
NOTAM	Notice to Airman
OGFC	Open Graded Friction Course
PA	Possehl Antiskid
PCN	Pavement Condition Number
PIARC	Permanent International of Road Congress
PIB	Produto Interno Bruto
PIM	Polo Industrial de Manaus
PPD	Pista de Pouso e Decolagem
RA 236	Resolução da ANAC N° 236
RBAC 154	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil
RMS	Root Mean Square
SAAB	Svenska Aeroplan AB
SAS	Scandinavian Airlines System,

SBEG	Solo Brasileiro Eduardo Gomes
SCI	Seção Contra Incêndio
SFT	Surface Friction Tester
SMA	Stone Matrix Asphalt
SRT	Skid Resistent Test
TECA	Terminal de Carga Aéreo
TPS	Terminal de Passageiros
TRH8	Technical Recommendations for Highways
UP	Unidade de Processamento
ZFM	Zona Franca de Manaus

Lista de Símbolos

$\sum_{i=1}^3 P1$ = soma das profundidades da macrotextura de cada medição

$\sum_{i=1}^n P2$ = soma das profundidades da macrotextura em cada terço

A_A = área da areia

$F60$ = valor do atrito a uma velocidade de deslizamento de 60 km/h (adimensional)

FH = força horizontal

F_W = força perpendicular

$FR(60)$ = atrito informado (*friction related*) a uma velocidade de 60 km/h

$FR(S)$ = atrito informado (*friction related*) pela medida da velocidade de deslizamento

F = força de atrito tangencial

g = gravidade

m = macrotextura

N = estabilidade

N = número total de áreas de medição em cada terço

$P1$ = profundidade da macrotextura de cada medição

$P2$ = profundidade da macrotextura em cada terço

$P3$ = profundidade média da macrotextura

r = desaceleração

S = velocidade de deslizamento (*speed*)

Sp = constante de velocidade (*speed constant*)

T = tempo despendido depois de acionado os freios

V = velocidade antes de acionar os freios

V_a = volume da areia

μ = coeficiente de atrito

μ_d = coeficiente de atrito dinâmico

μ_e = coeficiente de atrito estático

λ = comprimento de onda

Sumário

1. Introdução.....	12
1.1 Objetivos.....	14
1.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 Justificativa.....	14
2. Revisão Bibliográfica.....	16
2.1 Medições de Atrito.....	16
2.2 Aeroporto Internacional de Manaus Eduardo Gomes.....	22
2.3 Características Gerais dos Pavimentos.....	24
2.3.1 Revestimentos Asfálticos em Pistas de Pouso e Decolagem.....	25
2.4 Características de Superfícies de Atrito.....	34
2.4.1 Propriedades de Aderência Superficial.....	35
2.4.2 Interação Pneu-Pavimento.....	39
2.4.3 Hidroplanagem.....	41
2.5 Coeficiente de Atrito.....	45
2.6 <i>International Friction Index (IFI)</i>	49
2.7 Medidas de Textura.....	50
2.7.1 Mancha de Graxa (<i>Grease Patch</i>).....	51
2.7.2 Perfilômetro.....	52
2.7.3 Drenômetro (<i>Flow Meter</i>).....	53
2.8 Medidores de Atrito.....	53
2.8.1 Pêndulo Britânico (Estático).....	54
2.8.2 <i>Dynamic Friction Tester</i> – DFT (Estático).....	55
2.8.3 <i>Mu-meter</i> MK-6 (Roda Oblíqua).....	55
2.8.4 Adhera (Roda Bloqueada).....	57
2.8.5 ASFT T-10 (Roda Parcialmente Bloqueada).....	58
2.8.6 <i>Skidometer BV-11</i> (Roda Parcialmente Bloqueada).....	59

3. Materiais e Métodos.....	59
3.1.1 Macrotextura.....	61
3.1.2 Medição de atrito	62
3.2 Métodos	64
3.2.1 Macrotextura.....	64
3.2.2 Procedimento da Medição de Atrito.....	68
4 Discussão dos Resultados.....	73
4.1 Determinação da Frequência de Ensaios.....	73
4.2 Ensaio de Macrotextura	74
4.2.1 Ano de 2012	74
4.2.2 Ano de 2013	76
4.2.3 Ano de 2014	79
4.2.4 Resumo 2012-2014.....	80
4.3 Ensaio Atrito	83
4.3.1 Ano de 2012	83
4.3.2 Ano de 2013	86
4.3.3 Ano de 2014	91
4.3.4 Resumo 2012-2014.....	94
4.4 Linha Temporal	97
5 Conclusão	98
Referências Bibliográficas.....	101

1. Introdução

O transporte aéreo tem ocupado cada vez mais um lugar de destaque na economia global. Sua maior evolução ocorreu logo após a Segunda Guerra Mundial, período em que a busca por uma melhor tecnologia teve como objetivo sobrepujar o inimigo, o que ocasionou um rápido desenvolvimento aeronáutico e transformou o avião em um dos principais meios de transporte no mundo.

O referido modal contribuiu substancialmente para a redução das distâncias entre os principais centros comerciais, além de proporcionar comodidade e segurança à população aeroviária. A aviação tornou-se um dos setores mais dinâmicos da economia mundial, ante a crescente demanda comercial, o que estimulou a indústria aeronáutica a produzir aeronaves maiores e com maior capacidade, aptas a transportar cada vez mais passageiros e cargas a um menor custo e com maior rapidez e segurança.

Bielschowsky (2011) afirmou que no Brasil a forte expansão da demanda nesse segmento aconteceu entre as décadas de 1920 e 1960, devido à diversificação e ao crescimento da economia nacional. Ressalta, ainda, que, após um período de crise, voltou a se expandir a partir de 2003, em decorrência (1) do intenso crescimento das empresas responsáveis pelo modal, (2) da grande demanda comercial e (3) da garantia de sua rentabilidade protegida por uma regulação de mercado.

Desde 2000, melhorias nas condições macroeconômicas permitiram a ampliação desse setor no País. As empresas tradicionais brasileiras utilizaram-se de estratégias de diferenciação de produtos e formaram alianças com empresas estrangeiras, de forma a aumentar a malha aeroviária, fenômeno que resultou no acréscimo da movimentação de aeronaves.

Os aeroportos são concebidos para atender, mediante estruturas específicas, as operações de embarque e desembarque de bens e pessoas. Por outro lado, embora se observe um notável incremento aeronáutico, pouco se nota a evolução das infraestruturas necessárias ao atendimento das aeronaves.

Os aeroportos possuem como principal elemento de ligação entre os voos e as operações de embarque e desembarque a denominada Pista de Pouso e Decolagem (PPD). A mencionada via demanda manutenção rigorosa, com o intuito de prevenir a sua degradação e, por conseguinte, evitar a ocorrência de acidente e incidentes. O pouso e a decolagem são considerados as

operações mais críticas de um voo, de sorte que um pavimento destinado ao contato com aeronaves deve possuir três características básicas: (1) adequado suporte, (2) boa qualidade de rolamento e (3) apropriada característica de atrito superficial (GONZAGA *et al.*, 2010).

A Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO), além de ser a gestora da maioria dos aeroportos brasileiros, é, igualmente, a responsável por analisar, verificar e controlar as PPDs, baseada em procedimentos e requisitos estabelecidos pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), a qual, por sua vez, tem como função regular e fiscalizar as atividades da aviação civil e da infraestrutura aeronáutica e aeroportuária no País.

À luz do exposto, examina-se nesta dissertação a pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional Brigadeiro Eduardo Gomes, localizado em Manaus (AM), segundo a sua macroestrutura e seu Índice Médio de Atrito, considerando-se as balizas hauridas das legislações vigentes, a fim de fornecer informações que contribuam para a melhoria do programa de manutenção da referida estrutura.

1.1 Objetivo Geral

Avaliar a pista de Pouso e Decolagem do Aeroporto Internacional de Manaus Eduardo Gomes, de modo a verificar se há conformidade com relação aos parâmetros de segurança exigidos pela legislação da ANAC, no que tange ao atrito superficial e macrotextura.

1.2 Objetivos específicos

Avaliar a macrotextura.

Avaliar o Índice Médio de Atrito (IMA).

Contribuir com o programa de manutenção de pavimentos do Aeroporto Eduardo Gomes.

1.3 Justificativa

Dentre os vários fatores necessários a garantia da segurança nas operações de pouso e decolagem da pista de um aeroporto, dois mostram-se preponderantes — a macrotextura e o coeficiente de atrito, para um melhor nível de aderência pneu-pavimento.

A escolha da pista de Pouso e Decolagem do Aeroporto Internacional Eduardo Gomes se justifica, nesse estudo, pelo fato do mesmo constituir-se no principal aeródromo da região e, ao mesmo tempo, possibilitar a avaliação de uma estrutura que por um longo período permaneceu sem obras de conservação, sobretudo na manutenção de seus pavimentos. A última grande intervenção realizada na área de movimento (pista, taxis e pátio) ocorreu em 1999. Em particular, na PPD, executou-se a fresagem em seu terço central, a remoção de uma faixa, localizada no eixo, com largura de vinte e três metros e a recomposição desta por uma nova camada asfáltica. No pátio de estacionamento de aeronaves as placas em concreto de cimento *portland*, que apresentavam deterioração, foram substituídas.

Hotta (2012) afirma que a gestão dos aeroportos a cargo de uma empresa pública (INFRAERO) vinculada a burocracia excessiva dos órgãos governamentais, gerou um grande atraso tanto na manutenção quanto na expansão desse tipo de complexo, em especial na infraestrutura, tendo como consequência a degradação das pistas de pouso e decolagem.

Segundo Frota, C. A. *et al* (2012) o Polo Industrial de Manaus é responsável por movimentar grande parte da economia do Estado do Amazonas, detendo o sexto maior Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, superando o montante de R\$ 38 bilhões. Afirma, ainda, que parte das mercadorias produzidas pelo PIM é exportada pelo modal aéreo, mais precisamente cargas com alto valor agregado e baixa densidade. Esse significativo fator, ocasionado pela expansão

comercial do Polo Industrial de Manaus (PIM) da Zona Franca de Manaus (ZFM), trouxe o aumento da demanda alusiva ao transporte de cargas aéreas e, conseqüentemente, o acréscimo da quantidade de pousos e decolagens.

2. Revisão Bibliográfica

Neste capítulo será apresentado um breve histórico sobre a medição de atrito em pistas de pouso e decolagem no mundo e relativo ao Aeroporto Internacional de Manaus. Também serão expostos conceitos referentes ao pavimento, com ênfase aos flexíveis que constituem a maioria dos aeroportos, medição de atrito, macrotextura e equipamentos utilizados para a coleta desses dados. Obtiveram-se tais informações com base em dados da literatura nacional e internacional.

2.1 Medições de Atrito

Cedo se percebeu a necessidade de algum controle quanto à derrapagem durante os procedimentos de pouso e decolagem. No início do século XX a maioria das pistas destinadas a tal fim era constituída de grama, e somente algumas tinham sua superfície com característica rígida. O aeroporto de *Le Bourget* em Paris (Figura 1) foi um dos primeiros a possuir pista pavimentada, e naquela época, a medição de atrito não se mostrava como prioridade. Havia apenas um procedimento de checagem de atrito por meio de um teste de derrapagem — se estivesse deslizando muito, era emitida uma proibição de uso do aeroporto. Com a quantidade de acidentes ocorridos, houve a necessidade do desenvolvimento de metodologias mais eficazes.

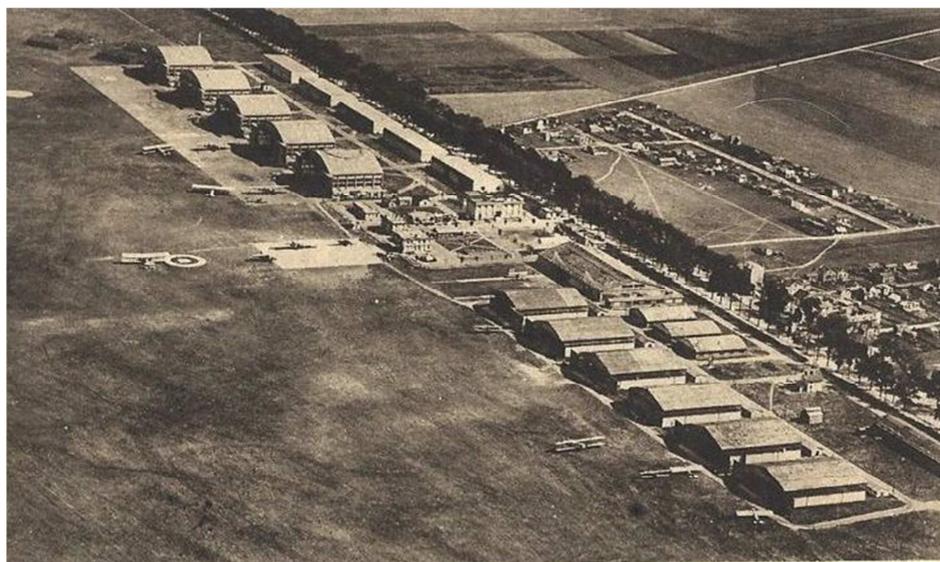


Figura 1 – Aeroporto de Le Bourget – Paris

Fonte: Retirado de <<http://www.ixengineercommand.com/showphoto.php?photoID=13>>`.

Acesso em: 16/06/2013.

Em 1946 o *Scandinavian Airlines System* (SAS) iniciou suas operações com as aeronaves Douglas DC-4 (Figura 2). Por questões de manutenção, os “grandes” DC-4 tinham que, ocasionalmente, pousar no *Oslo Fornebu Airport*, cuja PPD possuía somente 1200 metros de comprimento e suas cabeceiras apresentavam taludes bastante escarpados. Assim, o administrador do aeroporto, Ottar Kollerud, preocupado em evitar acidentes aéreos durante o inverno, desenvolveu o método Kollerud, que consistia em um caminhão carregado com areia a uma velocidade de 30 km/h acionava seus freios travando, então, as rodas. Portanto, o tempo ou a distância percorrida até a parada total do veículo era registrada.



Figura 2 – Aeronave DC-4 Douglas

Fonte: Retirada de <<http://www.edcoatescollection.com/ac3/Airline/TWA%20Douglas%20DC-4.html>>
Acesso em: 20/09/2013.

Esse teste verificava que a desaceleração apontada com o DC-4 correspondia aproximadamente ao dobro daquela alcançada pelo caminhão. Ensaios realizados posteriormente possibilitaram concluir que essa relação se mantinha para diferentes tipos de aeronaves. O citado parâmetro era calculado pelas equações 1 e 2.

$$r = \frac{V}{T} \quad (\text{Eq. 1})$$

ou

$$r = \frac{V^2}{2S} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

r = desaceleração

V = velocidade antes de acionar os freios

T = tempo despendido depois de acionado os freios até a parada total

S = deslocamento depois de acionado os freios até a parada total.

O método Kollerud ainda é adotado pela *International Civil Aviation Organization* (ICAO) e consta no Doc 9137-AN/898 (*Airport Service Manual, 1991*). Introduziram-se algumas modificações como a adoção do coeficiente de atrito μ . Assim, para seu cálculo divide-se a desaceleração r pelo valor da aceleração da gravidade $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

No final dos anos 40 e início dos anos 50 o problema do atrito das pistas de aeroportos não era reconhecido internacionalmente, mas o SAS começou a precisar de informações relativas às condições de atrito das pistas de aeroportos na Suécia, na Dinamarca e na Noruega. O diretor do aeroporto de *Bromma*, em Estocolmo, *Bertil Florman*, também concordou com a necessidade de fazer testes de atrito durante o inverno (Gunnar, 1997).

Florman utilizou o método de *Kollerud* no aeroporto de *Bromma*, e presumiu que o mesmo se adaptava a *Fornebu*, devido à baixa frequência de aterrissagens do DC-4. No entanto, em *Bromma*, onde o tráfego era muito intenso, o procedimento não se adequava, pois tomava muito tempo e havia um desgaste muito rápido dos pneus e freios dos caminhões. Então, *Florman* introduziu o medidor *Tapley* (Figura 3). Consistia em um instrumento, o desacelerômetro, que podia ser instalado facilmente em qualquer veículo. O procedimento consistia em acelerar o veículo até certa velocidade e, então, frear de modo a travar as rodas. Na sequência iniciava-se a derrapagem com leitura em um medidor. Não havia necessidade de frenagem do veículo até sua completa parada, evitando-se, de tal modo, a deterioração dos pneus e freios. O atrito era medido, normalmente, coletando nove pontos ao longo de três linhas, uma no eixo e duas adjacentes ao

eixo, afastada 5 metros para cada lado. Este aparelho constituiu um grande avanço na técnica de medição do atrito (Gunnar, 1997).

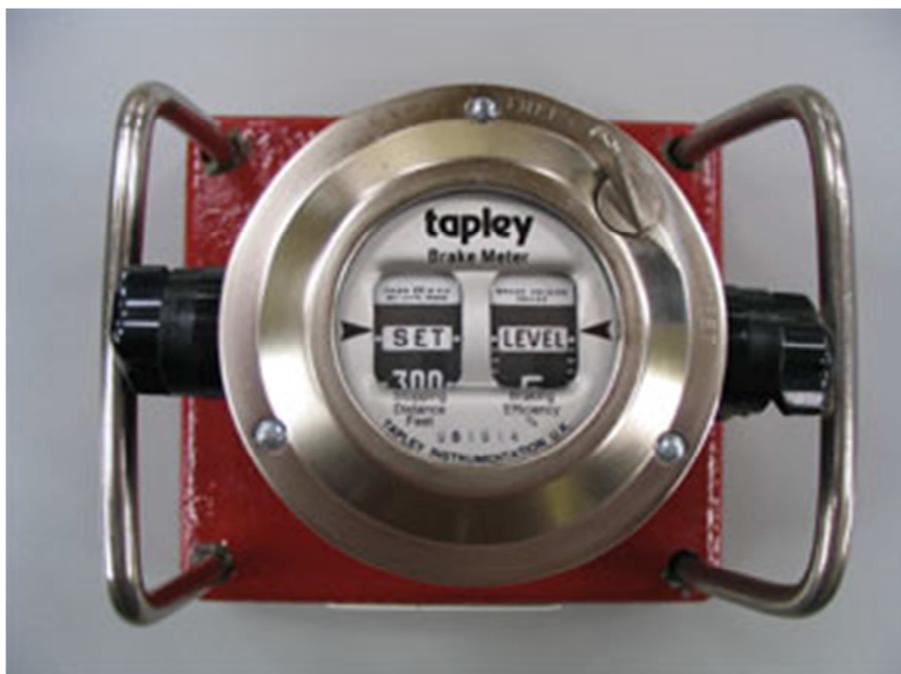


Figura 3 – Tapley Airfield Friction Meter

Fonte: Retirada de < <http://www.publicsurplus.com/sms/auction/view?auc=881732>>. Acesso em 10/08/2013.

Posteriormente, a pedido de *Florman Kulberg*, engenheiro sueco e chefe do *Swedish Road Research Insitute*, desenvolveu-se um equipamento denominado deslizômetro que media o atrito de forma contínua ao longo da pista. No início dos anos 50 (*Skidometer*) foi usado em testes no aeroporto de *Bromma* e, teve como consequência o surgimento de um deslizômetro especial, em forma de reboque, o BV-2. O SAS acreditava que os instrumentos deveriam ser suficientemente pesados, de modo a representar as aeronaves da época. Decidiram que durante a medição seria aplicada, na roda, uma carga de 1000 kg e que o equipamento deveria pesar cerca de 3000 kg, além de possuir três rodas no mesmo eixo com dispositivos que permitiam a roda central (roda de medição) tivesse um diâmetro menor, de modo a resultar um deslizamento em torno de 17%. Outra vantagem do método *Skidometer*, dizia respeito à energia de frenagem (80 a 85%) que podia ser utilizada como força de propulsão para as outras rodas, auxiliando no transporte do reboque. Com o avanço das experiências verificou-se que as medições podiam ser realizadas com

cargas menores. Atualmente a carga na roda de medição é apenas de 105 kg, conseqüentemente os equipamentos são mais leves, como por exemplo, a versão mais atual, o BV-11.

No final dos anos 60 a empresa sueca fabricante de veículos Svenska Aeroplan AB (SAAB), desenvolveu um equipamento medidor de atrito, tendo um automóvel com uma quinta roda que permitia coletar os dados da medição. Esse dispositivo recebeu o nome de *SAAB Surface Friction Tester (SFT)*. A sua vantagem principal era a rápida ação nas coletas de dados e liberação imediata da pista ao tráfego sem, contudo, impactar nas operações de pouso e decolagem. Este instrumento mostrou-se de grande utilidade nos aeroportos com muito movimento (Gunnar, 1997).

O SAS e os operadores dos aeroportos domésticos da Suécia elaboraram um método. Este considerava que durante o pouso, as propriedades de atrito da porção média e do final da pista são de maior relevância. Isso fez com que a mesma fosse dividida em três partes (três terços) para efeito de divulgação nos relatórios de condições do pavimento. Os terços receberam as designações A, B e C, sendo o “A” sempre a informação de atrito correspondente à cabeceira de menor número de codificação da pista. Desse modo, por exemplo, em uma pista com designação 10/28, um piloto em aproximação na cabeceira 28 receberia a informação na sequência C, B e A (Gunnar, 1997). Essas informações eram de fácil compreensão para os operadores dos aeroportos suecos, contudo os números não eram claros aos pilotos estrangeiros. Dessa forma, foram apresentadas as expressões Bom, Médio e Pobre no intuito de qualificar as condições do pavimento.

O SAS elaborou um questionário para cerca de 3.000 pilotos, destinado a avaliar as condições de controle da aeronave em situações de vento cruzado e pistas contaminadas com neve e gelo. As respostas permitiram verificar que para coeficientes de atrito maiores ou iguais a 0,40, não havia qualquer problema. Mas, valores inferiores ou iguais a 0,25 identificaram relatos com situações de dificuldade. Esse estudo permitiu introduzir uma forma normalizada de divulgação de informações aos pilotos acerca das condições das pistas, o qual associava termos descritivos aos níveis de atrito medidos nos pavimentos. Essa forma ainda hoje é usada pela ICAO, conforme mostra o anexo-14 relativamente a pistas contaminadas com neve (Tabela 1).

Atrito Medido	Ação de Frenagem Estimada	Código
Maior ou igual a 0,40	Boa	5
0,36 a 0,39	Média a Boa	4
0,30 a 0,35	Média	3
0,26 a 0,29	Média a Pobre	2
Menor ou igual a 0,25	Pobre	1

Tabela 1 – Características de atrito em pistas pavimentadas, contaminadas com neve ou gelo.
Fonte: Anexo-14 - ICAO, 2004.

Em 1952 a *International Air Transport Association* (IATA) promoveu um encontro, em que o SAS teve oportunidade de apresentar a experiência escandinava sobre avaliação e divulgação de informação do atrito de pistas de aeroportos. Como resultado, a IATA afirmou haver a necessidade operacional de se dispor de informações confiáveis e uniformes referentes às peculiaridades de pistas cobertas com gelo ou neve. Um representante da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) esteve presente nessa reunião e, a partir desse momento, iniciou-se a cooperação, que perdura até os dias atuais, entre técnicos do SAS e da NASA, para a investigação de perfil de atrito em pistas de aeroportos (Gunnar, 1997).

Ainda em 1952, durante a quinta reunião da Divisão de Aeroportos e Auxílio em Terra da ICAO, se considerou as demandas da IATA, sendo as mesmas inseridas em um documento chamado de Anexo 14 ICAO, o qual reúne as normas e recomendações para projeto e operação de aeródromos.

O reconhecimento internacional dos procedimentos escandinavos de medidas das características de atrito em aeroportos ocorreu quando a *Flight Safety Foundation* agraciou o porta voz do SAS e a *Swedish Civil Aviation Administration* com o prêmio *Flight Safety Almirante Louis de Florez*. Dessa forma, pode-se afirmar que a Escandinávia foi a região pioneira em se tratando de desenvolvimento de métodos e equipamentos para medição de atrito (Gunnar, 1997).

2.2 Aeroporto Internacional de Manaus Eduardo Gomes

Segundo a INFRAERO (2012), a inauguração do Aeroporto Internacional de Manaus Eduardo Gomes (SBEG) ocorreu em 26 de março 1976 (Figura 4). Seu complexo aeroportuário é constituído de uma única pista para pousos e decolagem com 2,7 mil metros de comprimento, três pistas de taxiamento (A, B e C), um pátio de estacionamento de aeronaves, três Terminais de Carga Aérea (TECA I, II e III), sete hangares, uma Seção de Combate ao Incêndio (SCI) e dois terminais de passageiros, (TPS I e II), sendo o TPS I destinado a voos domésticos e internacionais e o TPS II aos voos regionais.



Figura 4– Aeroporto Internacional de Manaus/ Eduardo Gomes
Fonte: INFRAERO, 2011.

A sua construção, por ocasião do governo militar, seguiu os mais avançados padrões da aviação civil da época. Por décadas permaneceu como um dos mais modernos complexos aeroportuários brasileiros. Com estrutura em concreto armado, foi projetado e construído para resistir também a ataques aéreos, sendo ainda o primeiro do país a operar com pontes de embarque e desembarque de passageiros. No decorrer de sua existência recebeu obras o qual proporcionaram melhorias em suas instalações, como recapeamento da PPD, ampliação do pátio de estacionamento de aeronaves do TPS I, recuperação do pátio do TECA I e II, modernização do saguão e adequação da infraestrutura para atendimento aos portadores de necessidades especiais.

O SBEG é o segundo maior aeroporto da Região Norte do Brasil em número de passageiros e em movimento de aeronaves, sendo inclusive, o terceiro maior em movimentação de cargas do país. Atualmente possui capacidade para atender 4,6 a 6,4 milhões de passageiros/ano. No entanto, em 2012 transitaram pelos terminais 3,13 milhões de passageiros, ou seja, abaixo da capacidade instalada. (INFRAERO, 2013). De acordo com o Boletim de Indicadores de Transportes Aéreos (BITA, 2010), a previsão de movimentos de passageiros para 2013 era de 3,01 milhões, em um panorama com restrição e 3,28 milhões em um cenário tendencial (Figura 5). A INFRAERO (2010) afirma que a cada dez anos a população aeroportuária é duplicada. Dessa forma, a previsão de ampliação do TPS I e II objetiva atender uma demanda para os próximos vinte anos, isto é, após a reforma, sua capacidade aumentará em 13,5 milhões passageiros/ano. A Tabela 2 mostra os perfis técnicos do complexo aeroportuário de Manaus.

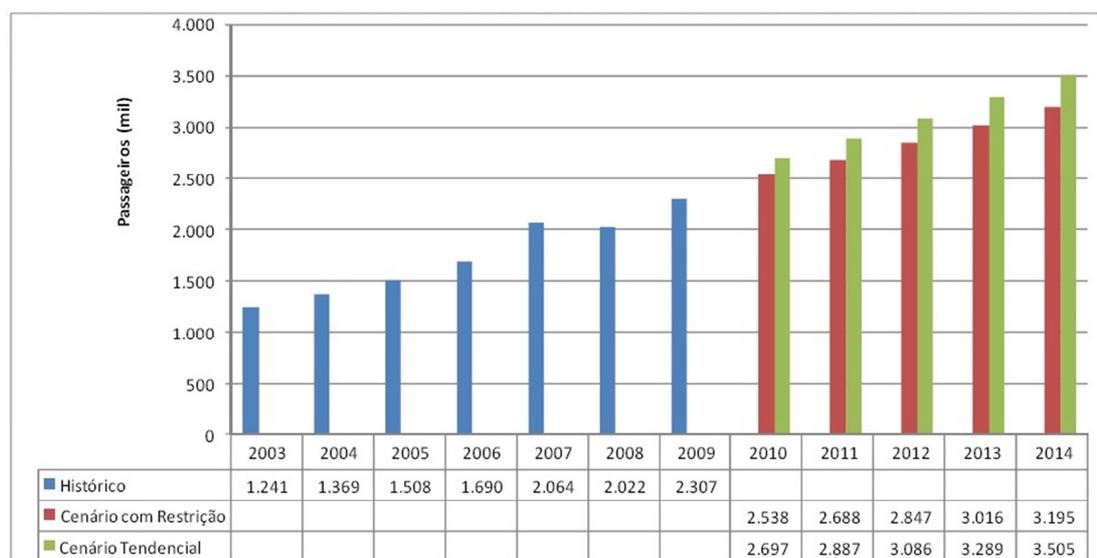


Figura 5 – Previsão de movimentos de passageiros SBEG.
Fonte: Boletim de Indicadores de Transportes Aéreos - BITA, 2010.

Aeroporto Internacional de Manaus / Eduardo Gomes	
Designativo IATA	MAO
Designativo ICAO	SBEG
Área do sítio aeroportuário	14.050.529,01 m ²
Dimensões da PPD (m)	2.700 x45
Cabeceiras	10/28
Área do pátio de aeronaves	45.000,00 m ²
Capacidade do TPS	4,2 a 6,4 Mi pax/ano
Movimento em 2012	3.131.150
Estacionamento de aeronaves	42 posições
Pista de taxiamento	Alfa (A), Bravo (B) e Charlie (C)

Tabela 2 – Complexo aeroportuário de Manaus
 Fonte: INFRAERO, 2013.

2.3 Características Gerais dos Pavimentos

Os pavimentos são estruturas de múltiplas camadas, em que o revestimento é a parte da qual se destina a receber diretamente a carga dos veículos e ação climática. Portanto, essa capa deve ser tanto quanto possível impermeável e resistente aos esforços de contato pneu-pavimento em movimento, sendo essas solicitações variáveis de acordo com a carga e a velocidade dos veículos.

O estrato mais superficial de um pavimento, além de ser a única percebida pelos utilizadores, é a que tem o objetivo de assegurar o comportamento funcional, como boas condições de conforto, economia, segurança e, em termos ambientais, apresentar superfície regular e desempenada. Este revestimento, igualmente chamado de camada de desgaste, é geralmente constituído por materiais granulares estabilizados com ligantes (no caso da rede viária principal e das estruturas aeroportuárias nacionais), e tem inclusive uma contribuição para a manutenção das peculiaridades estruturais por intermédio da impermeabilização dos leitos subjacentes (Pereira J. P., 2008; Branco *et al*, 2008 apud Duarte J.P.S., 2011)

Segundo Marques (2012), o pavimento é composto por estruturas apoiadas sobre uma fundação chamada subleito. Vários fatores contribuem para o seu comportamento estrutural como a espessura e rigidez de cada uma das camadas, incluindo o subleito, além da interação entre os estratos. A engenharia subdivide a estrutura do pavimento em três aspectos rígida, semi-rígida e flexível.

Os pavimentos rígidos são constituídos por camadas que trabalham essencialmente à tração. Seu dimensionamento é baseado nas propriedades resistentes de placas de concreto de cimento *portland*, as quais são apoiadas em um estrato de transição, a sub-base. Determina-se a espessura a partir da resistência à tração do concreto, atendimentos à fadiga, coeficiente de reação do sub-leito e cargas aplicadas. São pouco deformáveis, com uma vida útil maior respeitante aos outros tipos.

Os pavimentos flexíveis são formados por camadas que não trabalham à tração. Normalmente são compostos de revestimento betuminoso delgado sobre estratos puramente granulares. A capacidade de suporte é função das peculiaridades de distribuição de cargas por um sistema de camadas superpostas, com as de melhor qualidade situadas mais próximas da carga aplicada. O dimensionamento, usualmente, é comandado pela resistência do sub-leito.

Os pavimentos semi-rígidos, intermediário entre os pavimentos rígidos e flexíveis, tem como exemplo as misturas solo-cimento, solo-cal, solo-betume dentre outras, que apresentam razoável resistência à tração. Quando se tem uma base cimentada sob o revestimento betuminoso, o pavimento é dito semi-rígido. Particularmente, o revestimento reforçado de concreto asfáltico sobre placa de concreto considera-se como pavimento composto.

2.3.1 Revestimentos Asfálticos em Pistas de Pouso e Decolagem

Há vários tipos de revestimentos asfálticos (Tratamento Superficial, Concreto Asfáltico, Pré-Misturado a Frio, etc.). Sua escolha é determinada pelos seguintes fatores: composição da mistura, particularidade dos componentes, disponibilidade de material, capacidade de suporte, qualidade de rolamento, boas características de atrito etc. Como exemplo pode-se citar Areia-Asfalto, cuja utilização é em decorrência da falta de agregados pétreos graúdos, ou seja, na região onde será aplicada a capa asfáltica, tem-se a carência desse material. Então, utiliza-se como revestimento, uma argamassa de areia e ligante a qual terá menor resistência à deformação permanente e maior consumo de ligante. O mesmo pode ser executado com Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) ou Emulsão Asfáltica de Petróleo (EAP)

No caso de revestimento asfáltico em Pistas de Pouso e Decolagem, os critérios para aplicação são mais restritos, em função: da capacidade de resistência ao tráfego de grandes aeronaves, da ausência de irregularidades, de boas propriedades de atrito, de boa declividade e drenagem, este último sendo de vital importância na contenção do efeito *skid*. Todas essas exigências limitam à escolha a poucos tipos de revestimento.

2.3.1.1 Concreto Asfáltico

O Concreto Asfáltico Denso (CA), conhecido igualmente como Concreto Betuminoso Usinado a Quente (C.B.U.Q.) é um composto asfáltico muito resistente, desde que os materiais sejam selecionados e dosados de forma conveniente e adequada. Graças ao arranjo bem-graduado de partículas, a quantidade de ligante asfáltico requerida, para cobrir as partículas e ajudar a preencher os vazios, não pode ser muito elevada, pois a mistura necessita contar ainda com vazios após a compactação em torno de 3 a 5%, no caso de camada de rolamento (camada em contato direto com os pneus dos veículos). É o tipo de revestimento para PPD mais difundido nos aeroportos brasileiros (Figura 6). Sua aplicação segue especificações técnicas estipuladas pela Diretoria de Engenharia da Aeronáutica (DIRENG), que determina condições de execução de camada de revestimento, de base ou camada de nivelamento.



Figura 6 – Pavimento em Concreto Asfáltico – SBEG
Fonte: do Autor, 2013.

A norma 04.05.610/02-DIRENG (Especificação Geral para Obras de Infraestrutura Aeroportuárias para Misturas Asfálticas a Quente) orienta os requisitos a serem satisfeitos pela citada mistura. Em se tratando de aeroportos de grande porte, o tipo A é o indicado, pois uma das

exigências é a operação de aeronaves com massa bruta superior a 27.300kgf ou dotadas de pneus com pressões superiores a 0,70 MPa (Tabela 3).

Características	Tipos	
	"A"	"B"
Estabilidade(N)	min: 9.500 máx: 16.000	mín: 6.000 máx: 9.000
Fluência Máxima (0,25 mm)	10,0-14	10,0-18
Vazios da Mistura (V.V.,%)	2,8 a 4,2	2,8 a 4,2
Relação Betume-Vazios (R.B.V.,%)	70-80	75-82
Nº de Golpes em cada face dos Corpos de Prova	75	50

Tabela 3. – Requisitos a serem satisfeitos pela mistura asfáltica
Fonte: Especificações Gerais para Obras de Infraestrutura Aeroportuária – DIRENG, 2012.

2.3.1.2 Camada Porosa de Atrito

Com o objetivo de melhorar as condições de segurança de tráfego em pistas de aeroportos, pavimentação rodoviária e urbana, a Camada Porosa de Atrito (CPA) tem sido bastante difundida desde o início da década de 90, principalmente nos Estados Unidos e Europa. É um tipo de Concreto Asfáltico produzido com elevado números de vazios com ar (10 – 25%). Segundo DNER-ES 386/99, na França podem chegar a valores em torno de 30%. Essa condição de vazios permite a infiltração das águas pluviais na camada e sua percolação até serem drenadas pelas laterais. Dessa forma, mostra a necessidade de um elevado coeficiente de atrito, inclusive sob chuva intensa. Em rodovias, este tipo de revestimento evita a cortina de água produzida pelos veículos a determinadas velocidades, fato esse, prejudicial à visibilidade dos demais condutores trafegando logo atrás.

Embora a CPA tenha a finalidade de melhorar o atrito e produzir uma boa drenagem, o mesmo contribui adicionalmente na redução de ruídos. Segundo Meurer Filho (2001 apud SANTOS, E.L, 2004) devido à elevada percentagem de vazios da mistura, o ar situado à frente do pneu tende a penetrar nestes poros, reduzindo o bombeamento do ar. Com essa ação, obtém-se a diminuição dos ruídos, cuja ordem de grandeza varia com o tipo de asfalto poroso utilizado e dependem de diversos fatores como o tamanho dos agregados, a espessura da camada e o teor de vazios. É um revestimento usado com sucesso em superfícies de pista de decolagem em vários

aeroporos no mundo, porem depende de um processo construtivo correto. No Brasil pode-se citar o Aeroporto Santos Dumont (Figura 7), no Estado do Rio de Janeiro, como exemplo de PPD constituída de CPA.



Figura 7 – Pista do Aeroporto Santos Dumont – revestimento em CPA

Fonte: Retirada de <<http://www.ebanataw.com.br/trafegando/trabalho01.htm>>. Acesso em 08/01/2014

As principais vantagens desse revestimento são a redução dos riscos de hidroplanagem, diminuição dos níveis de ruídos provenientes do tráfego, menor reflexão luminosa e melhoria das propriedades de atrito. Portanto, melhorando a segurança aeroviária. Devido a sua macrotextura ser aberta, acarreta, inclusive, algumas desvantagens como a desagregação pelo esforço de cisalhamento em decorrência da dificuldade em manter as forças de coesão da mistura e, ainda, a frequente colmatção dos vazios por contaminantes, especialmente borrachas de pneus. Para que se mantenham as nomeadas propriedades, é necessário executar a manutenção preventiva, ou seja, a limpeza periódica do pavimento (SANTOS, 2004);

2.3.1.3 Stone Matrix Asphalt

A mistura asfáltica hoje conhecida pela sigla SMA (Matriz Pétreo Asfáltica), originalmente chamada de *Splittmastixasphalt* na Alemanha, foi concebida na década de 60, tendo como inventor o engenheiro alemão Dr. Zichner, gerente do Laboratório Central de Construções Rodoviárias de *Strabag Bau AG*. Originou-se numa tentativa de criar uma estrutura asfáltica que resolvesse os problemas devido à precipitação de neve no pavimento asfáltico. Na época, era usado na Alemanha como camada de rolamento e chamada de *Gussasphalt*, que pode ser traduzido como asfalto mástique, um concreto asfáltico com baixo teor de agregado graúdo.

Porém, tais misturas tinham um desgaste muito rápido aos pneus com pregos. Desta maneira os principais componentes dessa combinação, não eram suficientemente fortes para prover a vida útil desejada para o revestimento asfáltico. Assim, devido ao elevado custo de manutenção e restauração das rodovias alemãs na época, criou-se intensa demanda por uma nova estrutura asfáltica, mais forte, que suportaria o tráfego de pneus com pregos (RAMOS, 2012).

O SMA é um revestimento asfáltico, usinado a quente, concebido para maximizar o contato entre os agregados graúdos, aumentando a interação grão/grão. A mistura se caracteriza por conter uma elevada porcentagem de agregados graúdos, em torno de 70% a 80% maiores que 4,75 mm e, devido a essa particular graduação, forma-se um grande volume de vazios entre esses materiais, que são preenchidos por um mástique asfáltico (combinação da fração areia, *filler*, ligante asfáltico e fibras).

O esqueleto formado pelos agregados graúdos, maximizando o contato entre os grãos, proporciona excelente resistência à deformação permanente, contrário o que ocorre nas misturas densas, cujos agregados graúdos “flutuam” na matriz de agregados finos. A argamassa de mástique do SMA, rica em ligante, preenche os vazios formados pelos agregados graúdos, proporcionando maior durabilidade da composição asfáltica (EAPA, 1998 apud SILVA, P.B, 2005, p.12).

As composições asfálticas tipo SMA tem sido bastante empregadas como revestimento de pavimentos em rodovias submetidas a tráfegos pesado, aeródromos e em áreas aeroportuárias tanto na Europa como em outros locais do mundo. A constituição destes compósitos permite a aplicação em camadas com espessura delgada, possibilitando, de tal forma, a sua aplicação sobre pavimentos existentes que necessitem de melhores condições funcionais da capa de rolamento (EAPA, 1998 apud SILVA, P.B, 2005). Em se tratando de aplicação em aeroportos, a China obteve êxito ao executar o SMA no Aeroporto de Pequim (Figura 8). No Brasil a pista de Interlagos foi a primeira a utilizar a tecnologia do SMA. Seguindo as especificações da Federação Internacional de Automobilismo (FIA), o pavimento fora recuperado para receber a etapa Brasil do circuito de Formula1.



Figura 8 – Pista do Aeroporto Internacional de Pequim – revestimento em SMA

Fonte: Retirada de

<http://4.bp.blogspot.com/SmlIWxOTXds/UaYqnnusRI/AAAAAAAAA0bI/M02SWMS6IHc/s1600/Aeroporto_Internacional_de_Pequim.jpg>.

Acesso em 17/02/2014

As principais características de desempenho do SMA são boa estabilidade a elevadas temperaturas, boa flexibilidade a baixas temperaturas, alta resistência ao desgaste, boa resistência à derrapagem devido à macrotextura da superfície de rolamento, redução do spray (cortina de água durante a chuva), e diminuição do nível de ruído ao rolamento. Apesar dos vários fatores positivos, o SMA ainda peca pelo seu alto custo de aplicação, tornando-o inviável em algumas regiões.

2.3.1.4 Gap-Graded

Outra opção mais recentemente introduzida no Brasil é a graduação com intervalo (*gap*) – descontínua densa, conhecida por *gap-graded*. Compõe-se de uma faixa granulométrica especial, resultando em uma macrotextura superficial aberta ou rugosa, todavia não apresenta teor de vazios elevado. Algumas utilizações dessa faixa vêm sendo executadas com asfalto-borracha.

Porém, Merigui *et al.* (2007 apud NECKEL, 2008) o *Gap-graded*, igualmente, conhecido como OGFC (*Open- Graded Friction Course*) é considerado uma mistura asfáltica de elevado índice de vazios interconectados, poroso e com elevada permeabilidade. O emprego dessa tecnologia é recomendado para uso em aeroportos (Figura 9), devido a sua macrotextura e

capacidade de aumentar a aderência pneu-pavimento. Afirma, inclusive, que o excesso de água superficial pode ser drenado para a sua parte inferior e posteriormente removida através de uma camada impermeável logo abaixo, reduzindo potencialmente a hidroplanagem de aeronaves.

Utilizado exclusivamente como uma camada de desgaste, o *Gap Graded* é indicado para pavimentação de áreas de tráfego pesado, cujos afundamentos e rachaduras por fadiga são fatores preocupantes. A mistura tem um teor de ligante relativamente alto para fornecer uma boa durabilidade.



Figura 9 - Aplicação de *Gap Graded* em pistas de aeroporto

Fonte: Retirada de <http://www.pavementinteractive.org/wp-content/uploads/2011/07/Airport_pavement.jpg>.

Acesso em 05/01/2014

De acordo com as *Technical Recommendations for Highways* (TRH8, 1987), o revestimento *Gap-graded* consiste em um composto com agregados graúdos com tamanho uniforme, agregados finos e material de enchimento (*filler*). Esse tipo de composição emprega-se com grande êxito na África do Sul como tratamento superficial. Estudos feitos pela *National Institute for Transport and Road Research* (NITRR) indicaram o *gap-graded* superior à maioria das misturas de graduação densa, em se tratando da resistência à fadiga. Na prática, no entanto, vai depender das combinações das espessuras. Ensaios à tensão constante mostraram que o compósito apresentou bons resultados, em se tratando de resistência à fadiga, com ótimos índices referentes à drenagem e resistência a derrapagem (Tabela 4).

Grading	Gapgraded	Semi-gap graded	Continuousl y-graded	Dense bitumen macadam	Open graded
Mix property:					
Durability	3 to 4	4	4 to 5	3	1
Tensile strength Fatigue*	3	4	5	4	1
resistance	4 to 5	4	3	2	4
Deformation resistance	2 to 3	3 to 4	4 to 5	5	3
Impermeability to water	5	4	3 to 4	2	1
Skid resistance	4	5	3	-	5
Workability	4	4	4	2	5
Stiffness	3	4	4 to 5	5	1
Shrinkage	3	4	5	5	4

Tabela 4 – Classificações típicas dos cinco tipos de asfalto em termos de propriedades de engenharia (1 = pobre, 5 = bom)

Fonte: TECHNICAL RECOMMENDATIONS FOR HIGHWAYS (TRH8, 1987).

2.3.1.5 Possehl Antiskid

Conhecido, igualmente, por *Friction Porous Coating* (PFC), consiste em um tratamento superficial de alto índice de atrito usado em pistas de aeroportos para elevar seu coeficiente e garantir a segurança durante o pouso e decolagem. É uma tecnologia, protegida por patente, da Companhia *POSSEHL SPEZIALBAU* na Alemanha. De acordo com a empresa, o mencionado revestimento tem uma vida útil de cerca de 8 a 15 anos. Tem sido aplicado desde 1956 em mais de 130 pistas de pouso em aeroportos nacionais e internacionais, comprovado, assim, como um excelente sistema de pavimentação de alta aderência de proteção (Xiao, 2013).

Não obstante, essa mistura asfáltica mostra:

- a- Menor risco de aquaplanagem, pela sua altíssima capacidade de drenagem multidirecional, proporcionada pela sua rugosidade três vezes acima do estabelecido pela Norma Brasileira (alegação da empresa);
- b- Garante um alto índice de atrito, oferecendo maior estabilidade das aeronaves na ocorrência de chuvas e ventos laterais. Com nível de atrito μ entre 0,80 (pista nova) e 0,65, e devido a seu alto grau de segurança, é possível obter uma maior janela operacional das PPD, ou seja: menos aeroportos fechados em decorrência das

precipitações e ventos fortes e redução dos vôos alternados (desviados), contribuindo substancialmente para melhoria da operação da malha aérea;

- c- Aumento, a longo prazo, os índices de macro e microtextura. Segundo afirmação do fabricante, soluções como *Grooving*, SMA, CPA e jateamento com granalha de aço (*Jet Blasting*) atendem somente a emergências de falta de atrito a curtíssimo prazo. O tempo de vida útil (mínimo 12 anos) e baixo nível de manutenção permite o Possehl Antiskid (PA) se mostrar altamente econômico em comparação aos pavimentos tradicionais como *Grooving*, CPA ou CA, reduzindo em 300% as intervenções no pavimento; e a necessidade do desemborrachamento cai a um mínimo, considerando o nível de atrito acima do *maintenance planning level* (Anexo 14 / ICAO) por um longo período.

O PA (Figura 10) é composto por dois componentes de epóxi e um agregado de altíssima resistência, com uma espessura de 3 a 4 mm. É aplicado em curto prazo e possui alto índice de produtividade (até 10.000 m²/dia). O tempo de execução em uma PPD, padrão da INFRAERO, fica em torno de duas semanas e pode ser administrado em turnos noturnos, sendo a pista liberada toda manhã para operação, sem a necessidade de interditar os aeroportos.



Figura 10 – Textura do revestimento em PA

Fonte: Retirada em <http://www.bauindustrie-mitte.de/uploads/tx_kbmembers/Bild3_113_Flugbetrieb.jpg>.
Acesso em 07/01/2014.

Essa tecnologia permite grandes vantagens econômicas como maior segurança e eficiência das operações, menores custos operacionais, de manutenção, de investimentos e rápido retorno do capital investido. É indicado, principalmente, para os seguintes tipos de aeroportos:

- a. Com pistas com baixo nível de atrito;
- b. Com uma única pista;
- c. Operando com capacidade máxima;
- d. Com grande movimentação.
- e. Localizados na Amazônia, devido a alto custo dos insumos e dificuldades logísticas de manutenção, além de possuir um dos maiores índices pluviométrico do país, cerca de 2.200 mm/ano, segundo o Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2006).

2.4 Características de Superfícies de Atrito

Atualmente os principais métodos de concepção de pavimentos baseiam-se em considerações quanto ao nível estrutural, relegando a funcionalidade. No entanto, nota-se mudança com a crescente conscientização de todos os intervenientes para a segurança, conforto e economia, conjuntamente com as preocupações ambientais e quanto à sustentabilidade. As propriedades funcionais de uma via são influenciadas pelas características superficiais da mesma e, ao mesmo tempo, são as únicas levadas em conta do ponto de vista dos seus usuários, pois são as únicas perceptíveis (Duarte, 2011).

Quando se trata de segurança aeroviária, um dos principais aspectos é a condição de atrito da pista, pois este é um dos fatores determinantes na prevenção de acidentes aéreos nas manobras de pouso e decolagem. É devido ao atrito que uma aeronave consegue realizar procedimentos de decolagem (parte do repouso e atinge a velocidade ideal para levantar voo), bem como de pouso, onde a aeronave se aproxima a uma determinada velocidade e deverá parar com conforto e segurança (Santos, 2004).

Tem-se um bom procedimento de pouso ou decolagem pela interação pneu-pavimento e da aderência de ambos, além de outros fatores de cunho operacional. O perfil dessa interação vai refletir intensamente no resultado do atrito. Dessa forma, o pavimento deverá apresentar uma boa textura e uma boa drenagem, pois a deficiência no escoamento superficial poderá originar perda de tração (aquaplanagem) refletindo assim em uma possível perda de controle da aeronave.

2.4.1 Propriedades de Aderência Superficial

A textura do pavimento deve auxiliar na frenagem, resistência à derrapagem, drenagem superficial, conforto ao dirigir, dirigibilidade, consumo de combustível, bem como na redução de ruído. Entretanto, nem sempre se pode extrair todas as vantagens conjuntamente, em algumas situações deve-se priorizar um aspecto sobre o outro. A escolha deve privilegiar a segurança, pois a preservação do bem estar e da vida dos usuários são mais importantes (Callai, 2011). Assim, pode se afirmar que a frenagem, a drenagem superficial e a resistência à derrapagem são fatores primordiais, devendo sobrepujar os demais, pois a segurança é ponto principal no procedimento de pouso e decolagem.

Segundo a *Runway Surface Condition Assessment, Measurement and Reporting* (ICAO, 2011) os fatores causadores pela perda da resistência à derrapagem podem ser agrupados em duas categorias:

- O desgaste mecânico e polimento em decorrência da rolagem, da frenagem das aeronaves pela ação dos pneus ou ferramentas utilizadas para manutenção; e
- Acúmulo de contaminantes.

As categorias mencionadas estão relacionadas diretamente com duas características de fricção física das pistas que geram atrito quando em contato e movimento relativo com o pneu da aeronave, a macrotextura e microtextura. Afirma ainda que o aspecto mais importante da superfície do pavimento, relativamente às suas propriedades de fricção, é a textura da superfície. Seu efeito sobre o coeficiente de atrito do pneu-pavimento surge principalmente a partir de diferenças na rugosidade do revestimento. As superfícies são normalmente concebidas com macrotextura suficiente para obter uma taxa de drenagem de água adequada na interação pneu/estrada. A estrutura é obtida por dosagem apropriada do conjunto agregado/argamassa ou por meio de técnicas de acabamento do revestimento.

De acordo com o *Guide for Pavemente Friction* da National Cooperative Highway Research Program (NCHRP, 2009), durante um congresso realizado em 1997 pela *Permanent International of Road Congress* (PIARC), a classificação da textura estabelece-se em três níveis (megatextura, macrotextura e microtextura), de acordo com o comprimento de onda (λ). A Figura 11 ilustra a diferença entre essas três escalas. As influências relativas dos três níveis em comparação à interação pneu-pavimento podem ser observadas na Figura 12.

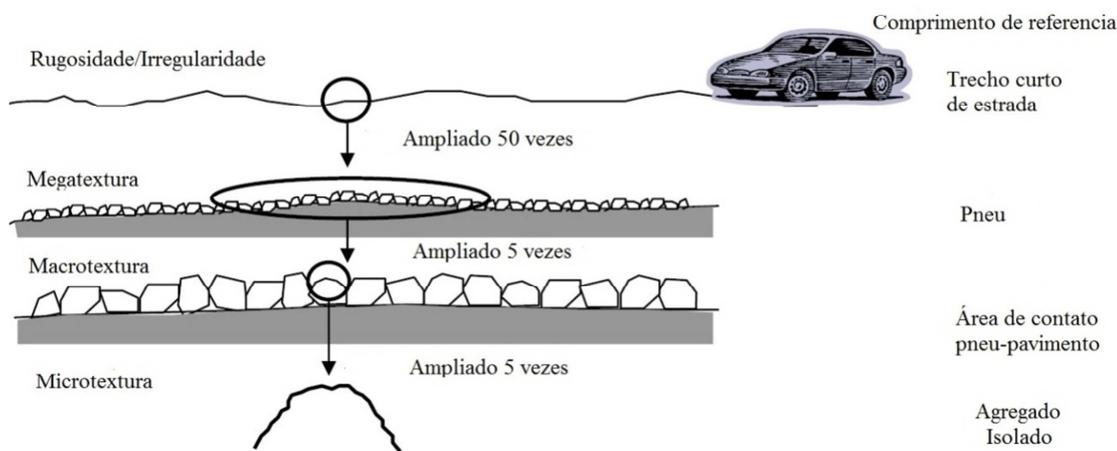
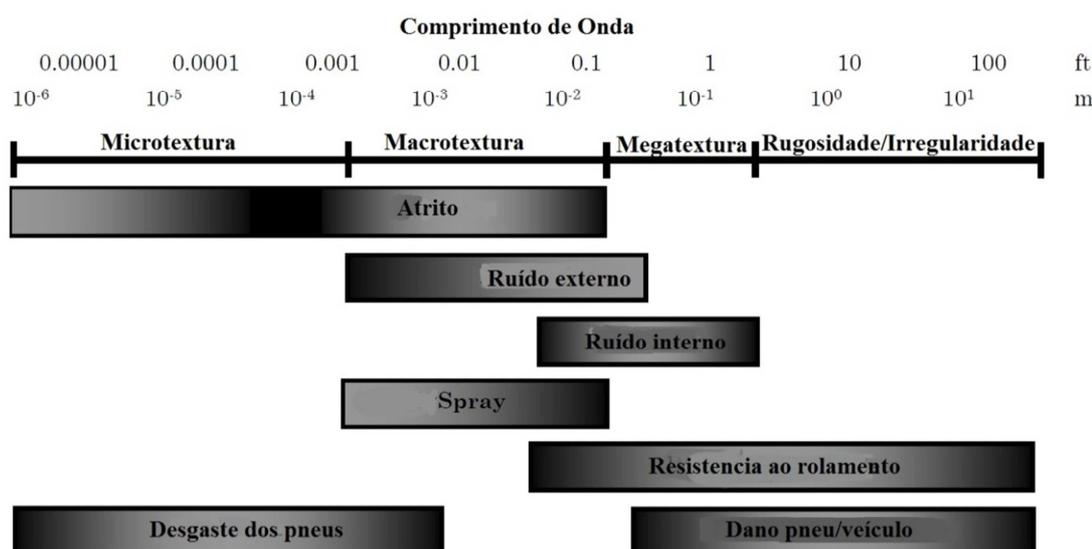


Figura 11 – Ilustração simplificada de várias escalas de textura de um dado pavimento
Fonte: NCHROP, 2009.



Note: Sombreamento mais escuro indica efeito mais favorável da textura acima desta faixa

Figura 12– Influencia da textura do comprimento de onda na interação pneu-pavimento

Fonte: NCHRP, 2009.

A megatextura é um componente do perfil da superfície que indica quão plana ela é. Níveis elevados indicam a baixa qualidade na execução do pavimento, pois apresentam características como recalques localizados ou de deterioração superficial. Já em contrapartida, uma baixa megatextura mostra redução de empoçamentos d'água. Uma megatextura ruim pode

ser resultado de deformações de superfície, sulcagem ou más técnicas de execução, afetando a drenagem e aumentando o risco de aquaplanagem.

A microtextura depende da textura individual dos agregados componentes da mistura asfáltica, isto é, a aspereza tal qual o agregado possui e que pode ser percebido ao tocar com a ponta dos dedos. O seu bom desempenho relaciona-se à estrutura dos agregados e sua mineralogia. Dessa forma, os seguintes requisitos devem ser observados:

- a) Apresentar e conservar arestas vivas pelo maior tempo possível;
- b) Resistir ao tráfego (dureza e resistência) e;
- c) Proporcionar boa resistência ao polimento acelerado.

Normalmente a aspereza é adquirida no processo de britagem das rochas que compõem o agregado superficial, e se desgastam com o tempo, sendo importante a escolha de rochas de boa qualidade. Entretanto, quando a superfície do agregado começa a apresentar sinais de polimento excessivo, a superfície do pavimento, como um todo, deve ser recuperada, seja por um processo de re-texturização ou da aplicação de um novo revestimento.

A microtextura é um fator preponderante em se tratando de resistência à derrapagem em velocidades inferiores 50 km/h, cabendo a macrotextura o papel importante da drenagem superficial. É ligada à relação individual entre os agregados, isto é, o tamanho e o espaçamento entre os agregados. Esse tipo de vínculo pode ser observado a olho nu. É inclusive, o fator mais influente na interação pneu-pavimento. Segundo Fernandes (1998, apud MATOS, 2009), tal tipo de textura depende dos seguintes fatores:

- a) Origem mineralógica - de acordo com a rocha-mãe os granulares podem apresentar características diversas, como a resistência ao desgaste, esfericidade, angularidade, etc;
- b) Processo de britagem - influencia no grau de esfericidade das partículas, preferindo-se os processos pela qual eliminem direções preferenciais de ruptura e ainda proporcionem forma cúbica ao granular;
- c) Projeto das misturas dos revestimentos - determina a granulometria do material a ser empregado, a partir do seu diâmetro máximo. Geralmente aquelas que mostram alta macrotextura inicial são compostas por baixos teores de grãos nas dimensões da areia ou possuem uma granulometria descontínua;

- d) Método de preparação do revestimento - pode gerar uma heterogeneidade nas misturas devido ao teor de betume. O procedimento da Penetração Invertida geralmente resulta na exsudação. Em misturas preparadas em usinas observa-se um melhor resultado na homogeneidade;
- e) Método de execução da camada revestimento - necessidade do cumprimento das determinações de projeto, como temperatura de execução, energia de compactação e o número de passadas do rolo compressor.

Segundo Duarte (2011), distingue-se dois tipos de macrotextura, uma positiva e uma negativa. Resulta, a primeira, do acabamento de um revestimento com tratamento superficial, pois seus agregados projetam-se para fora da superfície. A segunda observa-se em um pavimento drenante ou rugoso, tendo influencia no nível de drenagem superficial, e por vezes, no nível de redução do ruído.

A macrotextura tende a fechar e diminuir com o tempo, pelo desgaste superficial ou pela deposição de contaminantes, como a borracha. A manutenção periódica é necessária para a remoção desses ou mesmo para a reabertura desses espaçamentos. Os processos normalmente usados são a remoção química de borracha ou a re-texturização superficial por jateamento, pois além de remover contaminantes também refaz a rede de veios superficiais quando esses já apresentarem sinais de desgaste. A Figura 13 ilustra os tipos de superfícies de atrito.

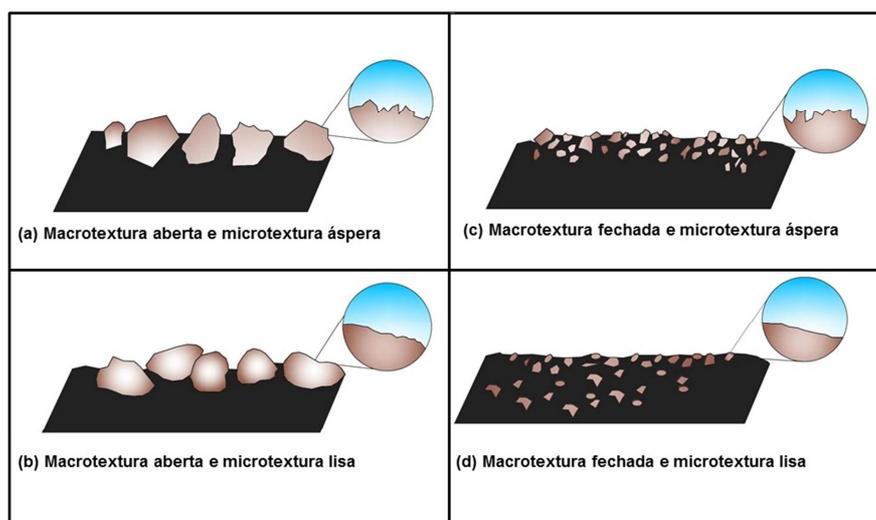


Figura 13 - Tipos de superfícies de atrito
Fonte: Lugão, 2008.

2.4.2 Interação Pneu-Pavimento

No processo de interação pneu-pavimento se observa que o coeficiente de atrito depende de diversos fatores, como a presença ou não de água, velocidade de deslocamento relativo, tipo e condição do pavimento, composição da borracha dos pneus, pressão dos pneus e seu nível de desgaste.

Entre os mecanismos responsáveis pelo atrito pneu/pavimento estão a histerese e a adesão (Figura 14). O primeiro diz respeito à perda de energia da borracha durante sua deformação, em decorrência do contato com o agregado do revestimento. Nessa condição, a presença de água não influencia no atrito. O segundo decorre dos vínculos intermoleculares entre a borracha do pneu e o agregado superficial da capa. Este meio é o maior responsável pelo atrito em pavimento seco e é suscetível de grande redução quando o mesmo é molhado. Esses dois estados sofrem alteração em caso de escorregamento entre as superfícies (pneu-pavimento). O mecanismo de força de atrito por histerese é relacionado à macrotextura, enquanto a força de atrito por adesão é concernente à microtextura da superfície do pavimento (NCHRP, 2009)

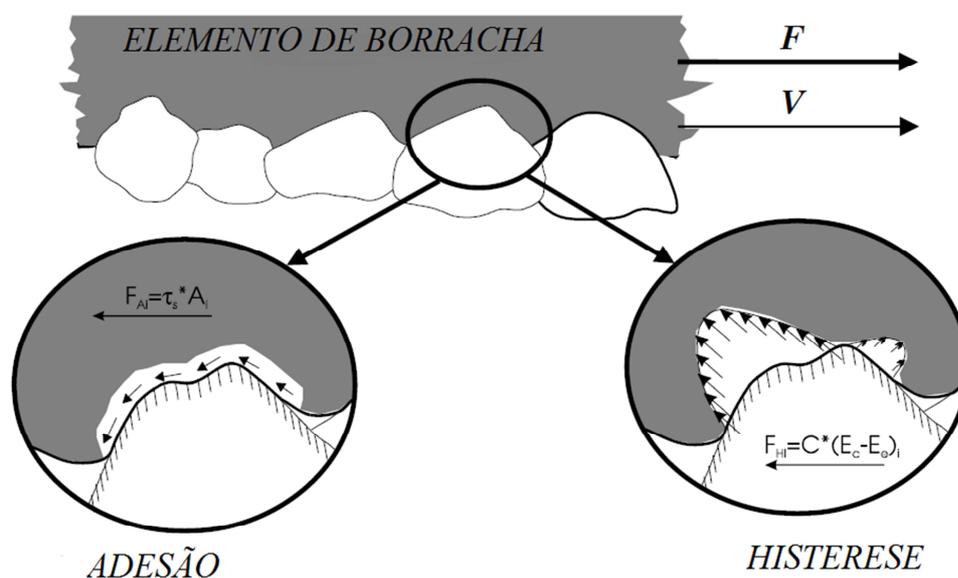


Figura 14 – Mecanismo de interação pneu-pavimento.
Fonte: NCHRP, 2009.

Os pavimentos podem ser classificados em quatro categorias (Figura 15), em função da macro e microtexturas, que definem as suas características de atrito nas situações seco e molhado.

Tipo I: pavimentos novos, com textura aberta e sem desgaste dos agregados superficiais, ou seja, com macrotextura espaçada e microtextura rugosa e áspera. Obtêm-se altos índices de histerese e adesão. Mesmo em condição molhada, não há perda significativa de atrito devido à capacidade de escoamento da água sob o pneu em qualquer velocidade de deslocamento.

Tipo II: pavimentos cuja forma já expõe algum desgaste em sua microtextura e tem diminuída sua parcela de atrito por adesão. Nesse tipo, o mecanismo de histerese passa a ser mais importante, principalmente em condição de pista molhada. Pneus fabricados com material que apresente altos valores de histerese respondem melhor nessas condições. Neste caso, em que a capa ainda possui macrotextura aberta, o escoamento da água sob os pneus é possível, verificando assim, a redução do risco de aquaplanagem. Não obstante, o fenômeno é proporcionado em casos de aumento da velocidade e da lâmina d'água.

Tipo III: pavimentos com macrotextura mais fechada e microtextura rugosa, como costuma acontecer em estruturas recém-construídas. Apresentam alto valor de atrito por adesão em pistas secas, pela boa microtextura. Em pistas molhadas, pela macrotextura mais fechada, o escoamento da água superficial acima dos veios superficiais, aceita a redução do atrito por adesão. Os únicos canais possíveis para o escoamento são os sulcos dos pneus e a inclinação do pavimento. Propiciam maior facilidade de ocorrência da aquaplanagem,

Tipo IV: caracteriza-se pela macrotextura fechada e microtextura suave. Exibe baixo valor do coeficiente de atrito em pista seca, pela menor adesão medida pela baixa microtextura, e em pista molhada pela incapacidade de escoar a água através da macrotextura fechada. Neste caso, devido aos valores reduzidos de atrito por adesão e histerese, é exigida maior distância de pista para executar a frenagem, mesmo na condição seca.

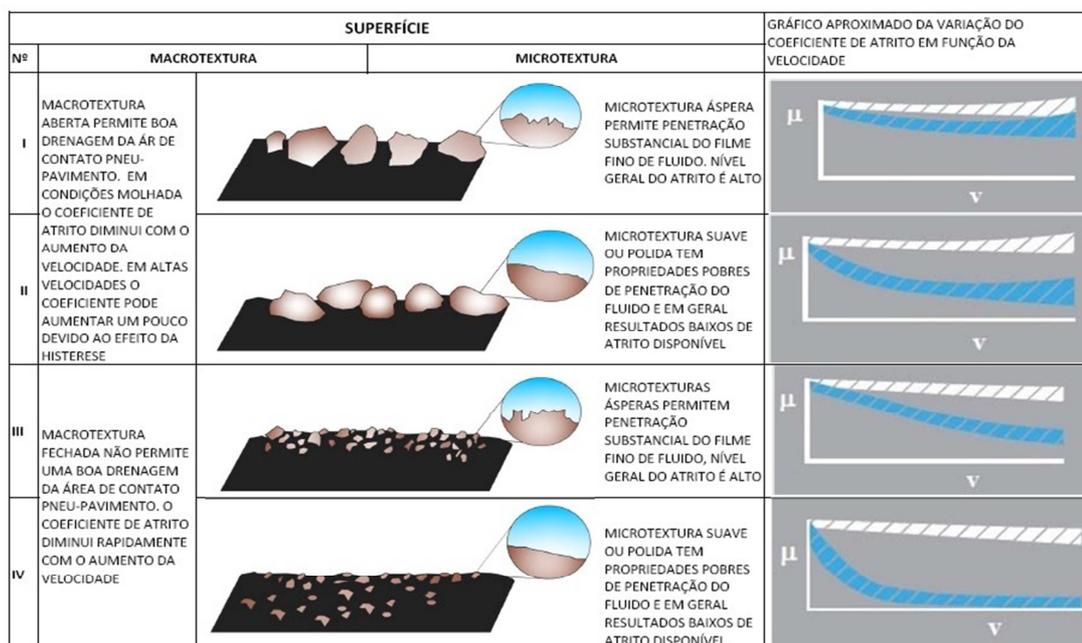


Figura 15– Efeito da textura do pavimento no coeficiente de atrito.
Fonte: Santos, 2004.

Por ocasião do volume de pouso e decolagem das aeronaves, a tendência dos pavimentos é mostrar, com o tempo, a condição do tipo IV, quer pelo desgaste decorrente do uso como pelo acúmulo de contaminantes na superfície, que conduzem à redução progressiva das micro e macrotexturas, respectivamente. Essa propensão é fator principal na intervenção periódica de manutenção nos pavimentos, principalmente nos aeroportuários, no sentido de restaurar e manter suas condições de segurança operacional.

2.4.3 Hidroplanagem

Segundo Mattos (2009), o fenômeno hidroplanagem surge quando o pneu do veículo perde totalmente o contato com a superfície do pavimento devido à existência de uma lamina d'água, de modo a se interpor entre o pneu e a superfície do mesmo. Nesse fenômeno as forças exercidas pelo pneu são superadas pelas forças hidrodinâmicas atuantes, proporcionando a flutuação do pneu sobre a água, ocorrendo então a perda total do controle do veículo.

Dessa forma, o aumento da velocidade ocasiona a redução do intervalo de tempo de contato entre o pneu e o pavimento, fazendo decrescer ainda mais a drenagem superficial o que provoca a diminuição da aderência, componente fundamental para a resistência à derrapagem. Assim, verifica-se a diminuição drástica do coeficiente de atrito por ocasião da alta velocidade,

em pistas molhadas. A Figura 16 mostra as curvas referentes à variação do coeficiente de atrito em função da velocidade. Esse gráfico teve como base um pavimento em concreto na condição seca e molhada, e usando a aeronave 880 Jet com o sistema *antiskid* ativado.

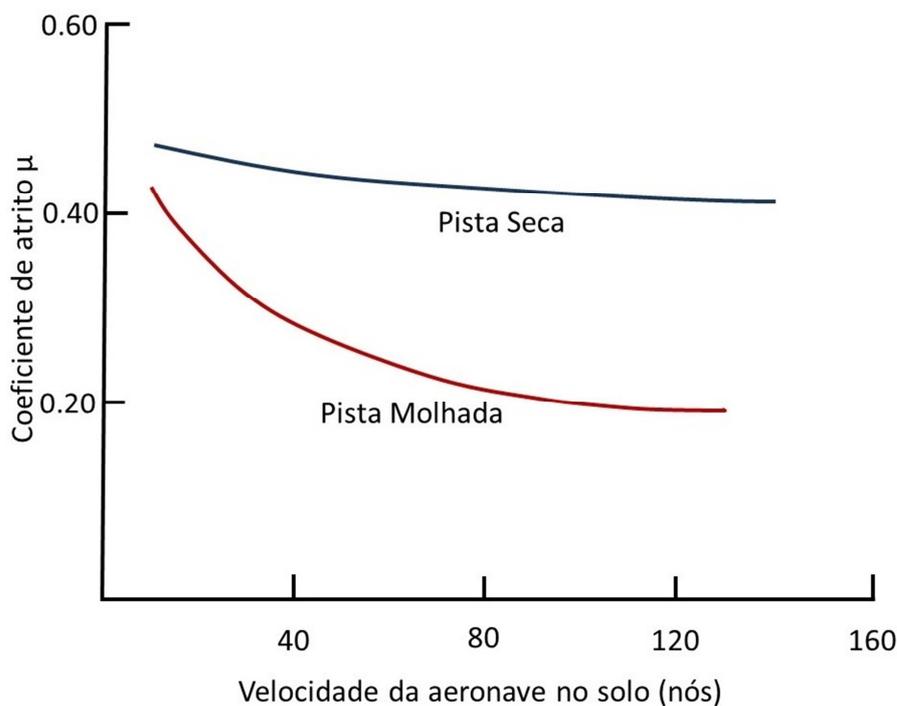


Figura 16 – Efeito da pista molhada e da pista seca sobre o coeficiente de atrito μ para aeronaves 880jet. Fonte: Rodrigues Filho, 2006.

De acordo com o *Airport Service Manual* (2002) da ICAO presentemente são conhecidas três tipos de hidroplanagem:

- a) **Viscosa:** pode ocorrer mesmo a velocidades reduzidas, caso a viscosidade não permita a expulsão da água sob o pneu, o que apenas acontece quando a superfície é extremamente lisa (polimento do agregado ou acúmulo de borracha). Este tipo resulta durante a frenagem (aterrissagens ou descolagens abortadas) em pistas molhadas (mesmo com lâminas d'água de espessura delgada) ou com gelo, e se iniciada é praticamente impossível de parar, mesmo com a redução da velocidade;
- b) **Dinâmica:** advém mesmo na presença de finas lâminas d'água, em condições de altas velocidades e em função da pressão interna dos pneus. Em pistas cobertas com água, e com deslocamento da aeronave, o pneu provoca o arraste dessa água para frente e para os lados. Na parte dianteira do pneu, na área de contato, forma-se uma onda de pressão decorrente do impulso onde o pneu transmite à água. Essa

pressão é proporcional ao quadrado da velocidade do pneu e à densidade da água. O mesmo mostra deformação e a água penetra na área de contato entre o pneu e o pavimento. Quando a lamina atinge uma espessura crítica e o trem de pouso encontra-se a uma velocidade avaliada de hidroplanagem, a água ocupa toda área de contato eliminando assim, a interação pneu/pavimento, tem-se então, a hidroplanagem dinâmica completa. Quanto maior a pressão interna dos pneus, maior será a probabilidade de intercorrência da hidroplanagem;

- c) A hidroplanagem por desvulcanização, ou reversão da borracha, efetua-se devido ao fenômeno de superaquecimento do pneu. Temperaturas cerca de 200°C provocam o “derretimento” dos pneus. Esse grande aquecimento acontece, para qualquer gama de velocidades, devido à macrotextura, desde que a roda não gire durante um longo período de tempo. A borracha perde as suas propriedades elásticas, entra no nível plástico e não permite a expulsão da água na interação pneu/pavimento. Atendendo à fraca resistência da borracha nesse estado, as perdas de aderência por histerese e por desgaste tornam-se reduzidas. Este tipo de hidroplanagem deixa marcas nos pneus e no pavimento.

Silva e Rodrigues Filho (1981, apud APS, 2006) comentam que pesquisas realizadas pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) mostraram ser possível dividir a região de contato do pneu com o pavimento molhado em três zonas distintas, esquematizadas na Figura 17:

- a) **Zona 1:** localizada na frente da zona de contato, cujo tamanho depende da velocidade do pneu, é a região com maior concentração de água e risco de aquaplanagem é maior. Também chamada de “zona molhada”, o qual o pneu empurra a água para frente, formando uma onda;
- b) **Zona 2:** intermediária, é a zona em que a lâmina d’água é rompida e o contato pneu-pavimento começa a aparecer. É adicionalmente denominada de “zona de transição”. Nessa fase pode advir a viscoplanagem ou hidroplanagem viscosa;
- c) **Zona 3:** a chamada “zona seca ou de contato”, é a região de melhor contato entre pneu-pavimento e a presença de água é praticamente nula ocorrendo, portanto, o contato direto entre o pneu e o pavimento. É local do início da ação do atrito, contribuindo para desaceleração e controle da aeronave.

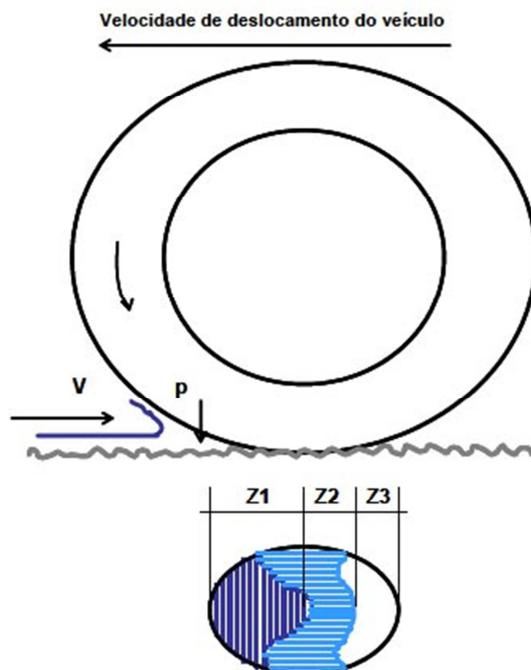


Figura 17 – Deslocamento da água pelo pneu de acordo com o conceito das 3 zonas.
Fonte: Aps, 2006.

Na condição estática do pneu, a área de contato com o pavimento fica contida na zona 3 e, no decorrer do aumento da velocidade surgem as zonas 1 e 2, com a correspondente redução da 3, até o seu desaparecimento e, finalmente, ocasionando o fenômeno da aquaplanagem.

Relativo à zona 2 é importante mencionar a possibilidade do aparecimento da chamada viscoplanagem. A água lubrifica a superfície e o atrito é reduzido. Esse fenômeno aparece geralmente em pavimentos úmidos (após a chuva) enquanto a aquaplanagem ocorre em pavimentos bastante molhados (durante a chuva).

Ressalte-se que os tamanhos dessas zonas de contato (1, 2 e 3) não dependem somente da velocidade, sendo também determinados pela textura superficial do pavimento, densidade e viscosidade do fluido, do padrão de desenho da banda de rodagem do pneu e sua pressão. As propriedades relevantes em cada zona podem ser verificadas na Tabela 5.

Parametros	Hidroplanagem Total	Hidroplanagem Parcial	Contato
Zona	Z1	Z2	Z3
Condição do Pavimento	Molhado	Úmido	Seco
Tipo de Interação	Deslizamento	Contato Parcial	Rolamento
Propriedade Relevante	Macrotextura	Microtextura	Macro e Micro
Fenômeno Ocorrente	Hidroplanagem Dinamica	Hidroplanagem Viscosa	Atrito

Tabela 5 – Hidroplanagem: total e parcial, modelo das três zonas.

Fonte: Aps (2006).

De acordo com Gusmán (1995, apud APS, 2006), acidentes devido à hidroplanagem, geralmente, acontecem em casos especiais, onde as velocidades são altas, as espessuras de lamina d'água são elevadas e a pressão sobre o pneu é superior a sua pressão de contato e este desliza sobre a superfície d'água. Normalmente ocorrem em pontos isolados dos pavimentos com macrotextura fechada, onde a drenagem superficial é ruim e as velocidades são superiores a 100km/h. Mesmo a água formando apenas uma lamina muito delgada sobre o revestimento, conhecida como filme, o risco de acidente continua existindo, pois o mesmo atua como lubrificante, diminuindo por consequência a resistência ao deslizamento.

2.5 Coeficiente de Atrito

O coeficiente de atrito de uma PPD é um dos principais fatores a ser considerado no que diz respeito à segurança aeroviária, pois é um parâmetro determinante no que tange às operações de pouso e decolagem.

As características de atrito dos pavimentos aeroportuários, especialmente nas pistas de pousos e decolagens, podem afetar, bastante, a segurança das operações das aeronaves. Dependendo das condições encontradas nessas camadas, uma condição de atrito deficiente pode gerar graves incidentes ou até mesmo acidentes com inúmeras vítimas fatais (Oliveira, 2009).

O conceito de atrito, em física, é denominado como sendo uma força que atua quando um objeto esta em contato com outro sendo submetido à ação de outra força cuja tendência é colocá-lo em movimento. Depende de uma força normal agindo sobre corpo em contato com a superfície. Quanto maior a força normal maior será o atrito (Halliday, 2006). Tal parâmetro é a

força que permite o deslocamento dos meios de transportes sobre rodas, isto é, a troca de forças entre o pneu e o pavimento que propicia a ação de movimento.

Silva (2008) apresenta o coeficiente de atrito pela qual demonstra o grau de rugosidade entre dois corpos. Trata-se de uma grandeza adimensional e pode ser diferenciado em:

- Coeficiente de atrito dinâmico (μ_d), presente a partir do momento de deslocamento do corpo;
- Coeficiente de atrito estático (μ_e), quando o corpo se encontra na iminência do movimento, ou seja, no princípio da atuação da força externa.

Porém Mossmann (2002) afirma que o valor do coeficiente de atrito estático pode variar entre zero e um certo valor máximo, ou seja, o corpo oscila entre a condição repouso relativo até a condição máxima estática, onde o vínculo com a superfície é rompida e inicia-se o movimento do mesmo. Durante o início do deslocamento ocorre o coeficiente de atrito cinético ou dinâmico, esse fator indica a perda da tensão entre as superfícies, como exemplo pode-se citar a derrapagem de um veículo em uma rodovia. Os valores do coeficiente de atrito estático máximo dependem bastante das características individuais das superfícies em contato.

Observa-se que o interesse maior concentra-se no coeficiente de atrito dinâmico, pois a pertinência deste parâmetro apenas se verifica na presença de movimento, quando das operações de pouso e decolagem das aeronaves, isto é, na iminência de ocorrer a derrapagem nos trens de aterrisagem.

Segundo o NCHRP (2009), o atrito dos pavimentos é a força resistente ao movimento relativo entre o pneu do veículo e a superfície do pavimento. Essa ação resistiva é gerada tanto pelo rolamento do pneu quanto pelo deslizamento sobre a superfície do pavimento (Figura 18).

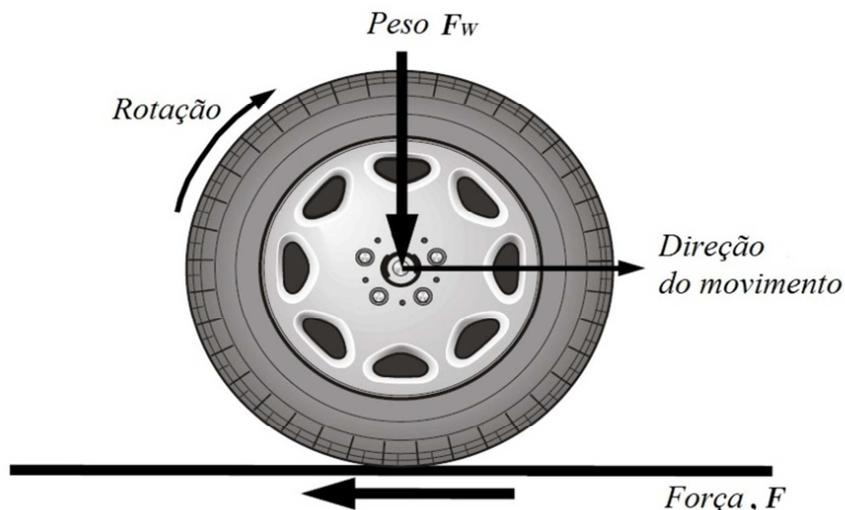


Figura 18 – Diagrama simplificado das forças agindo sobre uma roda em movimento
Fonte: NCHRP, 2009.

O coeficiente de atrito (μ) é expresso em uma forma adimensional pela relação entre a força tangencial que se desenvolve entre o pneu e o pavimento (F) e a força perpendicular ou carga vertical (F_W).

$$\mu = \frac{F}{F_W} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

μ = coeficiente de atrito

F = Força Tangencial de Atrito

F_W = Força Perpendicular

De acordo com a *Runway Surface Condition Assessment, Measurement and Reporting* (ICAO, 2011) erra-se ao acreditar que o coeficiente de atrito é uma propriedade pertencente à superfície do pavimento e, portanto, parte de suas características inerentes ao atrito. É um sistema de resposta gerado por um sistema dinâmico composto por:

- a) Superfície do pavimento (pista);
- b) Pneu (avião);
- c) Os contaminantes (entre o pneu e o pavimento) e
- d) Atmosfera (temperatura, radiação, de forma a afetar o estado do contaminante).

A Figura 19 ilustra bem as particularidades do atrito e como se inter-relaciona em um sistema dinâmico de funcionamento de uma aeronave. Os três principais componentes do sistema são:

- Características de atrito da superfície (propriedades estáticas do material);
- Sistema dinâmico (aeronave e o pavimento em relação ao movimento); e
- Sistema de resposta (desempenho da aeronave).

Tem sido um grande objetivo correlacionar a resposta do sistema, a partir de um dispositivo de medição da resposta da aeronave, quando medido em uma mesma superfície. Houve uma quantidade substancial de pesquisas realizadas, que trouxeram uma nova visão a esses processos. Não obstante, até o presente momento, não houve uma relação universalmente aceita entre o coeficiente de atrito medido e a resposta do sistema da aeronave.

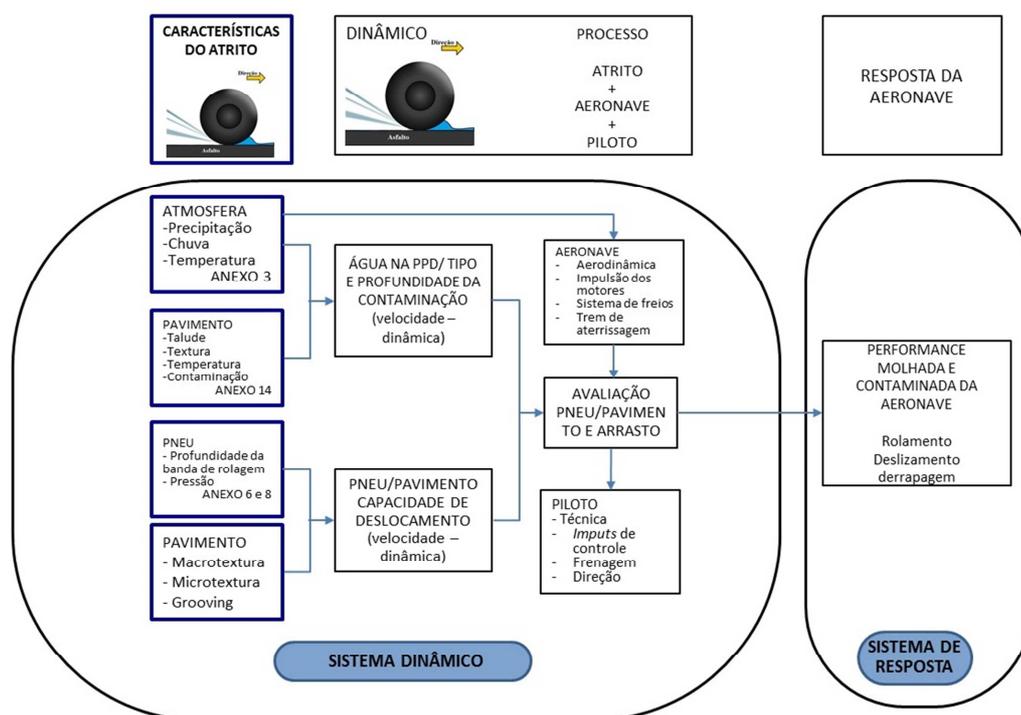


Figura 19 – Características básicas de atrito, o Sistema dinâmico e o sistema de resposta.
Fonte: Runway Surface Condition Assessment, Measurement and Reporting- ICAO, 2011.

Segundo López (1995, apud, 2006), o coeficiente de atrito obtido está vinculado ao equipamento com o qual se efetuou o ensaio, o qual pode utilizar uma estrutura com rodas que giram livres ou são bloqueadas durante o ensaio. Esses coeficientes são denominados:

- Coeficiente de Atrito Longitudinal – associado ao desenvolvimento da força na área de contato pneu-pavimento, quando se arrasta uma roda travada. Este ensaio simula melhor a resistência ao deslizamento em frenagens emergenciais ou se um veículo é freado, acelerado ou desacelerado no sentido longitudinal.
- Coeficiente de Atrito Transversal – conexo ao desenvolvimento da força na área de contato pneu-pavimento, perpendicular ao plano de rotação da roda, quando esta circula formando um ângulo em relação a sua direção de rotação (forças tangenciais). Este experimento simula melhor a resistência ao deslizamento transversal necessária para manter um veículo em curvas ou derrapagens.

2.6 *International Friction Index (IFI)*

Com o decorrer do avanço tecnológico, desenvolveram-se vários dispositivos medidores de atrito com bom nível de precisão, entretanto os métodos variavam de acordo com país criador. Esse fator dificultava muito a comparação de parâmetros entre países. Com a preocupação de harmonizar esses valores, a PIARC (atual *World Road Association*) iniciou suas pesquisas em 16 países. Foram testados diversos tipos de equipamentos de medição sob diferentes condições de atrito, textura, e velocidades de circulação, bem como em distintos tipos de via. Portanto, em 1995 apresentou-se uma escala de referencia internacional, visando a avaliação global da superfície de um pavimento. Esta escala é representada pelo *International Friction Index (IFI)*, o qual permite a comparação de resultados segundo equipamentos distintos, constituindo dessa forma, em um índice comum de avaliação que origina o atrito e a textura da superfície.

O IFI relaciona o atrito com a velocidade de deslizamento. Esse modelo estima a constante de referência da velocidade (S_p) e o atrito a 60 km/h (F_{60}) de um pavimento. O par de valores, S_p e F_{60} , expressam o valor de IFI de um pavimento e calcula o valor do atrito, $F(S)$, a qualquer velocidade de deslizamento, dado pela equação 4.

$$FR(60) = FR(S) * e^{\frac{S-60}{S_p}} \quad (\text{eq. 4})$$

Onde:

$FR(60)$ = atrito informado (*Friction Related*) a uma velocidade de 60 km/h

$FR(S)$ = atrito informado (*Friction Related*) pela medida da velocidade de deslizamento

S = velocidade de deslizamento (*Speed*) em km/h

Sp = Constante de velocidade (*Speed Constant*) expresso em km/h

60 = velocidade padrão km/h

Aps (2006) propõe uma classificação do IFI por meio de faixas, em que o índice de atrito é composto por meio de medições com aparelhagem portátil (Tabela 6). Explica que é fundamental verificar a metodologia aplicada para determinação dos parâmetros de atrito, pois os equipamentos portáteis avaliam pontualmente, enquanto os demais são de determinação contínua, como o Griptester. Afirma, ainda, que os índices coletados por meio de medições pontuais ou contínuas podem contribuir substancialmente nos estudos de acidentes, avaliações para sistemas de gerencia de pavimentos, além de manutenção das pistas aeroportuárias.

Limites (IFI)	Classificação
$IFI < 0,05$	Péssimo
$0,06 < 0,08$	Muito Ruim
$0,09 < 0,11$	Ruim
$0,12 < 0,14$	Regular
$0,15 < 0,21$	Bom
$0,22 < 0,35$	Muito Bom
$IFI > 0,35$	Ótimo

Tabela 6 – Classificação do índice de atrito.
Fonte: Aps, 2006.

2.7 Medidas de Textura

Os métodos para ensaio de macrotextura podem ser divididos em:

1. Método volumétrico ou *Mean Profile Depth* (MPD), sendo os mais comuns a Mancha de Areia e seu similar, Mancha de Graxa.
2. Perfilômetro ou *Root Mean Square of Texture Profile* (RMS). Podem ser divididos em três tipos, o laser, fotoseccionamento e água de contato. O mais difundido é o tipo a laser.
3. Drenômetro permite medir o tempo de escoamento da água, contida em cilindro de plástico transparente, em contato com a superfície do pavimento.

2.7.1 Mancha de Graxa (*Grease Patch*)

Trata-se de uma variação do método da Mancha de Areia. O procedimento consiste em preencher os vazios da textura superficial do pavimento com um volume conhecido 16.000 mm³ de graxa. Demarca-se a área de ensaio com duas fitas adesivas paralelas, espaçadas de 10 cm, e como limite emprega-se uma terceira fita adesiva perpendicular fechando um dos extremos, conforme ilustrado na Figura 20. A superfície é limpa com auxílio de escova de mão macia até ficar seca. A graxa é, então, espalhada por meio de um pequeno rodo, preenchendo os vazios da superfície e conseguindo uma área final aproximadamente retangular. Mede-se o comprimento do retângulo com aproximação visual de 5 mm. Calcula-se a área coberta e obtém-se a profundidade média da textura, conforme a equação 5. Os materiais necessários ao ensaio são apresentados na Figura 21.

$$H_g = \frac{V}{A} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

V= 16000 mm³;

A = área do retângulo da mancha de graxa (mm²);

Hg = altura média da mancha de graxa (mm).



Figura 20– Método Mancha de Graxa.
Fonte: Aps 2006.

2.7.2 Perfilômetro

O perfilômetro a laser pode ser instalado em equipamentos estacionários sobre uma viga, sendo acionado por um motor ou empurrado a mão, ou ser montado em um veículo que se desloca a velocidades de 72 km/h. De um modo geral, esses equipamentos atuam emitindo um raio (laser) sobre um ponto do pavimento e um receptor, situado na viga, mede a altura desse ponto sobre o pavimento, conforme orientação da ASTM E 1845 ou ISO 13473. Existem algumas peculiaridades dos perfilômetros a laser citadas a seguir:

- Necessitam estar em movimento para se obter as medições;
- Podem ser usados na velocidade da via, ou seja, podem passar despercebidos aos demais usuários evitando riscos à segurança e problemas de fluidez;
- Não devem ser usados a velocidades muito baixas (depende da sensibilidade dos acelerômetros usados);
- Não geram perfis exatamente iguais aos alcançados estaticamente (com nível e mira ou *Dipstick*);
- Podem-se conseguir resultados mais confiáveis que os adquiridos estaticamente, pois devido à coleta de dados automatizada, os erros humanos são eliminados.

Apesar dessas várias vantagens, não é tão difundido no Brasil e tem uma melhor aceitação na Europa. A Figura 21 mostra um modelo de perfilômetro a laser.



Figura 21 – Perfilômetro a laser.

Fonte: Retirado de < <http://www.dynatest.com.br/produto.asp>>
Acesso em 21 de novembro de 2013.

2.7.3 Drenômetro (*Flow Meter*)

Foi desenvolvido aos moldes do drenômetro do *Institute of Highways, Railroads and Rock Engineering* (ISETH) de Zurique, pelo Laboratório de Tecnologia de Pavimentação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, segundo MOMM (1998, apud APS, 2006, p. 36). Esse instrumento permite medir, de forma indireta, a macrotextura de um pavimento por meio da sua drenabilidade superficial. Emprega um cilindro transparente com volume conhecido, geralmente 730 ml, acoplado ao fundo uma placa com um orifício circular, em contato com a superfície do pavimento. O cilindro é preenchido com água e mede-se a duração (cronômetro comum) em segundos que o líquido demora a escoar, passando por duas marcas existentes no tubo, demarcadas de forma a apresentar um volume conhecido. A duração da vazão será tanto maior quanto mais lisa forem as superfícies, verificando-se o contrario para texturas extremamente rugosas. De acordo Aps (2006) e Silva (2008) existe uma correlação entre a vazão do drenômetro e o ensaio da Mancha de Areia, porém quando se tratar de superfície com textura lisa, a correlação não é muito forte. A Figura 22 ilustra o modelo LTP- USP.



Figura 22– Drenômetro LTP – USP.
Fonte: Aps 2006.

2.8 Medidores de Atrito

Os medidores de atrito podem ser divididos em quatro tipos:

- Equipamentos estáticos (Pêndulo Britânico, Dynamic FrictionTest - DFT);
- Equipamento com ângulo de deslizamento lateral - oblíqua (MuMeter);

- Equipamentos com rodas bloqueadas (Adhera, MAder);
- Equipamentos com rodas parcialmente bloqueadas (ASFT T-10, *Skiddometer BV-11*, Griptester).

A INFRAERO utiliza, atualmente, quatro tipos de instrumentos: *Skiddometer BV-11*, MuMeter MK-6, ASFT T-10 e o Griptester.

2.8.1 Pêndulo Britânico (Estático)

É um dispositivo portátil e sua aplicação é especificada pelo método ASTM E – 303-93 (1998), pode ser empregado em laboratórios e em ensaios de campo. Seu princípio de funcionamento baseia-se em um pêndulo padronizado com uma base de borracha. É lançado em direção ao pavimento molhado, com o objetivo de medir-se a perda de energia por atrito da sapata de borracha do pêndulo no momento em que esta desliza sobre a superfície do revestimento. O valor é expresso em *British Number Pendulum* BPN (BPN) ou *Skid Resistant Test* (SRT). A Figura 23 ilustra o formato do Pêndulo Britânico.



Figura 23 – Pêndulo Britânico.

Fonte: VI Seminário ALACPA de Pavimentos Aeroportuário, 2009.

2.8.2 *Dynamic FrictionTester* – DFT (Estático)

O DFT é um dispositivo portátil, cujo procedimento de ensaio esta preconizado na ASTM E 1911-98. Este aparelho permite a medida direta do atrito de vários tipos de superfícies pavimentadas. O DFT (Figura 24) consiste em um disco que gira horizontalmente, em velocidade tangencial de 0 a 80 km/h, composto de três corredeiras de borracha (tipo de borracha utilizada em rodas dos medidores de atrito). Esses três elementos tocam a superfície, enquanto a velocidade é reduzida em função do atrito produzido na área de contato. Possui um reservatório que se despeja água na superfície a ser ensaiada. O atrito é calculado, então, em função da velocidade.

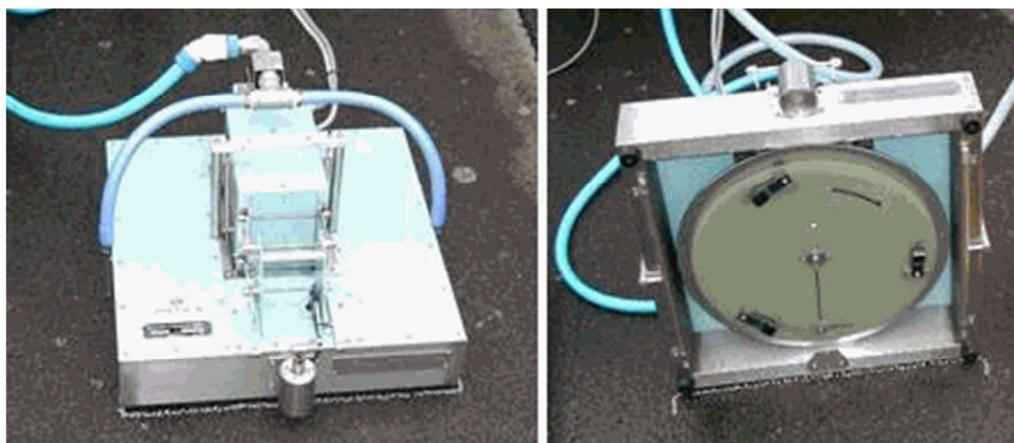


Figura 24– Dynamic FrictionTester.

Fonte: Retirado de < <http://www.pti.psu.edu/allFacilities>>.

Acesso em 13 de agosto de 2013.

2.8.3 *Mu-meter* MK-6 (Roda Oblíqua)

É um dos mais empregados, em território nacional, para aferição de coeficiente de atrito de uma PPD. O processo de medição, além de ser simples e de boa precisão, utiliza uma programação de computador para auxiliar o operador em suas medições e seu procedimento está regido pela ASTM E-670 (2000). Consiste em um aparelho do tipo de ângulo de deslizamento lateral, ou seja, realiza a medição de atrito a partir de uma roda alinhada diagonalmente com a direção de avanço. Conforme um elemento da banda de rodagem avança, dentro da zona de contato, a carcaça vai sendo continuamente defletida lateralmente, já que a zona de contato desliza lateralmente. Essa deformação lateral do pneu produz uma força lateral, cujo momento

em torno do ponto de articulação da roda atua para alinhar a mesma com a direção de avanço (Figura 25).



Figura 25– *Mu-meter* MK-6.

Fonte: Retirado de < <http://www.airport-int.com/article/mu-meter-mk6-runway-friction-measuring-machines.html> >

Acesso em 13 de novembro de 2012.

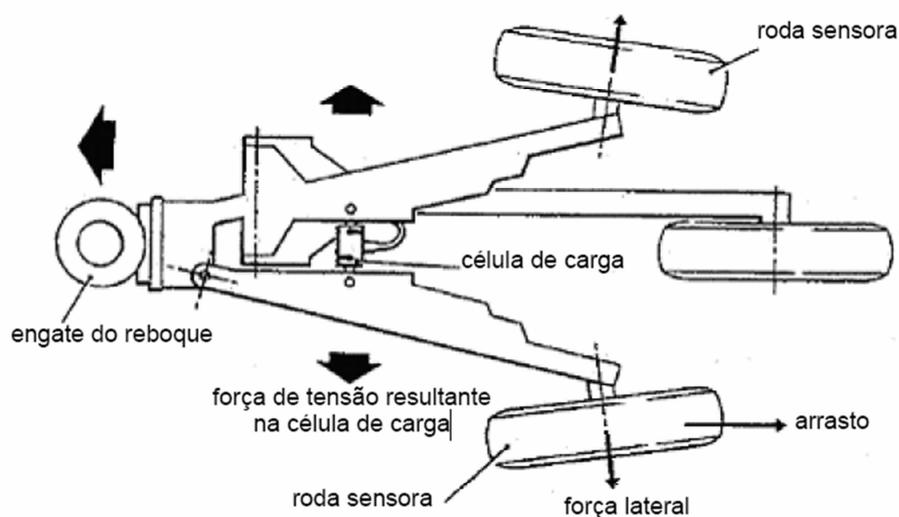


Figura 26 – *Mu-meter* MK-6 – Desenho Esquemático.

Fonte: Santos (2004).

A medição é feita a partir do momento em que um veículo reboca o *Mu-meter* a velocidade determinada. O atrito produzido entre os pneus laterais (*Friction Wheels-FW*) e o pavimento, força os membros laterais do chassi a se afastar, ocasionando, dessa forma, forças de tensão na célula de carga ligada aos dois braços do chassi. O sinal da força e o da distância percorrida são enviados a uma unidade de processamento (UP). Nos modelos mais atuais, como o Mk-6, por exemplo, essa UP pode ser conectada a um computador portátil, como um notebook,

para acessar as informações em tempo real, de dentro do veículo que estiver rebocando o *Mu-meter* (Figura 26)

Em testes com pistas molhadas, existem duas formas de operar. Uma é utilizando o *Mu-meter* diretamente na pista molhada, porém esta não é muito recomendada devido à falta de controle da espessura da lâmina proveniente das precipitações. A segunda forma emprega um reservatório (localizado em cima da caminhonete reboque do *Mu-meter*) e duas saídas d'água retangulares apontadas diretamente no caminho das FW. A profundidade efetiva da água é controlada diretamente pela vazão proveniente dos bocais.

2.8.4 Adhera (Roda Bloqueada)

O *Adhera* (Figura 27) é um equipamento cuja sua tração realiza-se por meio de um veículo que armazena e leva o reservatório bem como o dispositivo coletor de dados do ensaio. Esse modelo opera com a roda bloqueada e deslizamento de 100% em sua configuração padrão. O reboque representa um quarto de carro de passageiro. A roda de medição permite uma simulação e investigação de uma situação de frenagem com a mesma totalmente travada. O aparelho opera com velocidades entre 40 km/h e 120 km/h. Em se tratando de projetos de pesquisa é possível executar medidas com uma relação de deslize variável. Podendo assim, medir forças horizontais e verticais. Um sistema de provisão habilita a especificação da espessura da lamina d'água e a quantia do líquido aplicada depende da lamina especificada.



Figura 27 – Adhera.

Fonte: < <http://www.cete-ouest.developpement-durable.gouv.fr> >

Acesso em 02/10/2013.

2.8.5 ASFT T-10 (Roda Parcialmente Bloqueada)

O *Airport Surface Friction Tester* (ASFT T-10) é um dispositivo rebocável o qual seu sistema de suspensão efetua edições a alta velocidade, sem deixar o equipamento perder contato com o pavimento, mesmo nas curvas fechadas. O sistema de dados inclui dois computadores, um de medição e outro principal com impressora e painel de apenas seis teclas para simplificar a manipulação pelo operador. O computador é pré-programado para coletas e amostragens de acordo com as normas da ICAO, FAA, e 683 CAP (regulamento da Aviação Civil do Reino Unido). Seu programa controla a ação de mensuração e apresenta os resultados no monitor e / ou na impressão em papel. O volume do reservatório de 500 litros permite que a válvula reguladora de pressão tenha um rendimento de 10.000 metros de pista, com uma película de água de 1milímetro.

O pneu medidor de atrito "Aero" foi desenvolvido para fins de medição operacionais. Os resultados de coletas com este pneu têm demonstrado a sua correlação com características de frenagem das aeronaves devido a sua alta pressão. (Figura 28).



Figura 28 – ASFT T-10.

Fonte: < http://www.asft.se/aviation/t10Trailer_rear.shtml>

Acesso em 22/10/2012.

2.8.6 *Skiddometer BV-11 (Roda Parcialmente Bloqueada)*

Esse instrumento efetua medidas de atrito de modo contínuo. É constituído por um reboque de três rodas do tipo deslizômetro (*skiddometer*). As duas laterais giram livremente, e a central (responsável pela medição do atrito) tem sua rotação retardada operando com uma taxa de deslizamento de 17%. Uma força de 100 kgf é aplicada sobre a roda de medição, que pode ser composta de pneus de baixa e alta pressão. As medidas de resistência são transmitidas por um sensor a um computador, cujos dados são coletados, processados e armazenados. O programa faz inclusive o controle de vazão de acordo com a especificação do filme de água definido (Figura 29).



Figura 29– *Skiddometer BV-11*.

Fonte: < <http://www.izovoltas.com> > Acesso em 22/10/ 2012.

3. Materiais e Métodos

Neste capítulo serão apresentados o local e os dispositivos empregados nos ensaios de macrotextura e atrito. Tais experimentos seguem as normas que regulam os procedimentos de medição de aderência em pistas de pouso e decolagem no Brasil — Resolução 236, de 5 de junho de 2012 da Agencia Nacional de Aviação Civil (RA 236) e o Manual de Procedimentos Operacionais e Executivos para Medição de Atrito, de Macrotextura e Remoção de Borracha nas

Pistas de Pouso e Decolagem dos Aeroportos da INFRAERO, de 21 de fevereiro de 2013 (MP - 22.04/A).

Os estudos ocorreram na pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional de Manaus / Eduardo Gomes. O Aeródromo está situado a 14 km do centro da cidade nas coordenadas 3°02'08.83"S e 60°02'59.17" O. Possui pista única (Cabeceiras 10/28) para pousos e decolagem (Figura 30). Sua identificação de acordo com a ICAO é SBEG e pela IATA é MAO.

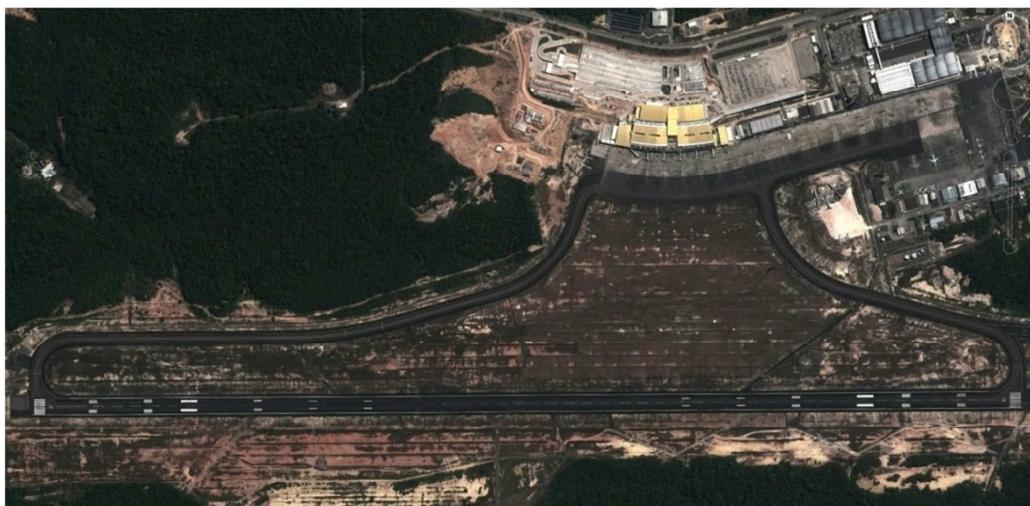


Figura 30– Pista de Pouso e Decolagem do SBEG
Fonte: < Google Earth > Acesso em 22/01/ 2014.

A PPD tem seu revestimento constituído em Concreto Asfáltico (C.A.) e sua base em solo-cimento. Sua Classificação Internacional e a nave crítica correspondem a 04/E (vide RBAC 154) e o B747-400, respectivamente. As características físicas podem ser observadas na Tabela 7

PISTA	DIMENSÕES (m)			PCN	TIPO DE SUPERFÍCIE	
	PISTA	STOP WAY	FAIXA DE PISTA		PISTA	STOP WAY
10	2700 X 45	60 X 45	2940 X 300	71/F/C/X/T	ASPH	
28		60 X 45				

Tabela 7. – Características físicas da PPD de SBEG
Fonte: INFRAERO, 2012.

3.1 Materiais

3.1.1 Macrotextura

No ensaio de macrotextura (Mancha de Areia ou *Sand Patch*) foram utilizados os seguintes materiais (Figura 31): a) areia, com granulometria contida entre peneiras #50 e #100, isto é, passando na peneira de malha 50 e ficando retida pela peneira de malha 100; b) régua metálica para medição do diâmetro da “mancha” de areia; c) dispositivo de proteção visando à proteção da “mancha” em decorrência da ação do vento; e d) carimbo espalhador, dispositivo utilizado para conter o volume de areia (24 cm³) e espalhar a areia no pavimento.



Figura 31– Materiais auxiliares do ensaio MA.
Fonte: Aps, 2006.

3.1.2 Medição de atrito

Os dados coletados pela medição de atrito na PPD do Aeroporto Internacional de Manaus são gerados por meio de um conjunto de elementos, a saber:

- a) *grip Tester*, um equipamento robusto, compacto e leve (cerca de 80 kg), fácil de operar que efetua as medidas de atrito de modo contínuo (Figura 32). É constituído por um reboque de três rodas do tipo deslizômetro e a roda central (responsável pela medida do atrito) tem a rotação retardada operando com uma taxa de deslizamento controlada de 15%. Pode atingir velocidade de até 100 km/h quando rebocado. É o medidor padrão para ensaios de atrito no Aeroporto Internacional de Manaus;
- b) furgão van (Figura 33), utilizado para que o *GripTester* alcance a velocidade de medição e ainda rebocar o sistema espargidor (unidade de bomba, unidade de transmissão, caixa de interface e um reservatório de água) que fornece o fluxo de água. O furgão ainda possui, pelo seu porte, a capacidade de armazenagem de todo o conjunto de medição de atrito;
- c) computador de coleta de dados (CCD), esse *hardware* contém o programa *Airbase* que é responsável em processar todas as informações obtidas pelo *GripTester*, controlar o sistema de rega e configurar as características da pista a ser medida.



Figura 32 – *GripTester*
Fonte: Cibernétrica (2011)



Figura 33 – Conjunto medidor de atrito (detalhe do reservatório no canto direito superior)
Fonte: do autor, 2012.

É no *Airbase* (Figura 34) que são inseridos todos os dados exigidos para efetuação da medição, como comprimento da PPD, lado a ser medido, distancia do eixo, inicio da cabeceira, nome do aeroporto, etc. Após a formatação de todos os dados necessários, o *Airbase* controla automaticamente todo o sistema de medição.

GripTester for Airports
Airbase V1.8.8

Senha do Administrador: **Português**

© Findlay Irvine Ltd
www.findlayirvine.com

Findlay Irvine GripTester

Estudo Grip Tester

Configuração de Sistema | Informação Aeroportuária

Calibração DPR | Saída

Resultados do estudo

Aeroporto Inter Eduardo Gomes

Executar 1 | Subseção 100

Apagar

Código ICAO	SBEG
Designação da pista	10/28
Número da cabeceira	10/28
Data de começo da pista	03-abr-2014
Tempo de construção/pista	1000
Distância de eix	70
Comprimento da pista entre linhas	2000
Velocidade alvo	150km/h
Película de água	Seca
Condição da superfície	Céu limpo e ventoso
Estado do tempo (Meteorologia)	Céu limpo e ventoso
Temperatura Ambiente	30 (C)
Temperatura de Superfície	32 (C)
Operator (utilizador)	Vanda

Acima da media: Cada lado em separado

Comprimento total Os dois lados juntos

Mantença ICAO

0.09	0.42	0.52	0.73	1.20
------	------	------	------	------

Carga

Programar parâmetros para esta pista

Figura 34 – *Software Airbase*
Fonte: do autor, 2012.

O funcionamento do *GripTester* obedece o princípio da roda freada e arrasto fixo, com forças verticais e horizontais sendo continuamente medidas e totalizadas a cada 10 metros ou 20 metros. O aparelho rebocado por um veículo equipado com um reservatório com capacidade para 400 litros e um dispositivo controlador de vazão. A água é proporcionalmente aspergida sob a roda teste para cada velocidade de levantamento, de modo a garantir uma película de espessura igual a 1,0 milímetros.

As forças vertical e horizontal são medidas continuamente por tensiômetros (“*strain gages*”). Os valores médios são calculados e exibidos na tela do computador de bordo a cada dez metros de levantamento, juntamente com os valores médios da velocidade desenvolvida pelo veículo rebocador do equipamento. O coeficiente de atrito é determinado pela relação entre o pneu e pavimento e pela Força Normal atuando no contato. A fórmula utilizada pelo *GripTester* no cálculo do coeficiente de atrito, no caso o valor do *Grip Number* (GN) é dada por:

$$GN = \frac{F_v}{F_h} \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

GN = *Grip Number* (coeficiente de atrito – adimensional)

Fv = Força Vertical (kgf)

Fh = Força Horizontal (kgf)

3.2 Métodos

Neste item serão abordadas as etapas de realização dos ensaios de macrotextura e atrito.

3.2.1 Macrotextura

Para efetuar a medição, o cilindro metálico deve ser preenchido completamente com areia. Derrama-se o conteúdo do cilindro sobre o local escolhido do pavimento e espalha-se uniformemente, procurando conformar uma figura geométrica conhecida, geralmente um círculo. Os parâmetros da área de espalhamento devem ser medidos em quatro direções e os valores computados (Figura 35).



Figura 35– Sequencia do ensaio da Mancha de Areia
Fonte: INFRAERO, 2010.

Depois de computada a área, as seguintes equações devem ser utilizadas no cálculo da média da textura da superfície do pavimento:

$$P1 = \frac{V_A}{A_A} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

P1= Profundidade da macrotextura de cada medição (mm)

V_A = Volume da areia (mm³)

A_A = Área da areia (mm²)

$$P2 = \frac{\sum_{i=1}^3 P1}{3} \quad (\text{Eq.8})$$

Onde:

P2= Profundidade da macrotextura (mm)

$\sum_{i=1}^3 P1$ = Soma das profundidades da macrotextura de cada medição

N= Número total de coletas realizadas em cada área

$$P3 = \frac{\sum_{i=1}^n P2}{N} \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde:

P3= Profundidade média da macrotextura (mm)

$\sum_{i=1}^n P2$ = Soma das profundidades da macrotextura em cada terço

N= Número total de áreas de medição em cada terço

Obs.: O número N (P3) irá depender do comprimento de cada PPD. No caso de SBEG, o

$N=9 \times 3 \rightarrow 27$

A medição da macrotextura deve ser realizada em toda extensão operacional da PPD, com o primeiro ponto de medição coincidindo com o início da pista (ponto zero), em áreas do pavimento onde não existam ranhuras transversais (*grooving*), em áreas localizadas a três metros do eixo da pista, e de forma alternada a cada 100 metros, à esquerda e à direita do eixo (Figura 36) e com, no mínimo, três medições para cada área, conforme preconizado no art. 18 da RA 236.

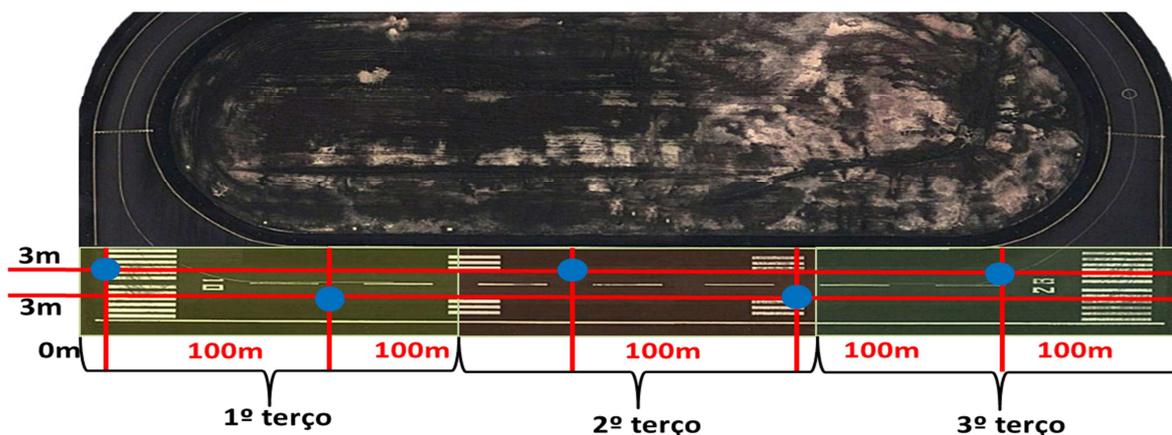


Figura 36 – Locação dos pontos de ensaio da macrotextura
Fonte: do autor, 2012.

No mínimo três medições de profundidade da textura do pavimento devem ser coletadas nas áreas consideradas. Uma profundidade média da textura deve ser calculada para cada área. A frequência de aplicação dos testes de medição da macrotextura deverá ser executada sempre que forem feitas as avaliações de atrito. De acordo com a RA 236 (ANAC, 2102), o requisito de profundidade média da macrotextura superficial dos pavimentos da PPD deverá ser maior ou igual a 0,60 milímetros. Depois de calculada sua profundidade, a mesma deverá ser classificada conforme a Tabela 8.

Muito Fechada	$T < 0,2$ mm
Fechada	$0,2$ mm $< T < 0,4$ mm
Média	$0,4$ mm $< T < 0,8$ mm
Aberta	$0,8$ mm $< T < 1,2$ mm
Muito Aberta	$T > 1,2$

Tabela 8 – Classificação da Macrotextura pela profundidade média – T
Fonte: Resolução Nº 236 – ANAC, 2012.

A respeito da constância de ensaios, o RA 236 disponibiliza uma tabela para determinar-se a frequência de medição de macrotextura em função da quantidade de pouso da aeronave (Tabela 9). É interessante lembrar que a análise não deverá ser feita em pavimento com qualquer nível de umidade.

Faixas	Pousos diários por cabeceira de aeronaves de asa fixa com motor a reação ou turbojato (média do último ano)	Frequência mínima de medições de macrotextura
1	Menos de 15	Cada 12 meses
2	16 a 30	Cada 6 meses
3	31 a 90	Cada 3 meses
4	91 a 150	Cada 60 dias
5	151 a 210	Cada 45 dias
6	Mais de 210	Cada 30 dias

Tabela 9 – Frequência das medições de macrotextura
Fonte: Resolução Nº 236 – ANAC, 2012.

Ressalta-se a existência de uma relação entre o tamanho da Figura (diâmetro do círculo) obtida na realização do ensaio da Mancha de Areia e a textura do pavimento, isto é, quanto maior o círculo, mais fechada será a textura do revestimento ou quanto menor, mais aberta será a textura. Isto é devido a maior ou menor penetração da areia nas reentrâncias (espaços entre agregados) do pavimento.

Quando a profundidade da macrotextura apresentar valores abaixo do mínimo, ações deverão ser adotadas com o objetivo de se reestabelecer os índices anteriores. Comumente, os baixos valores de macrotextura são devido ao acúmulo de borracha no pavimento, em decorrência da frequência de pouso e decolagem. Neste caso utiliza-se o equipamento removedor de borracha (Figura 37).



Figura 37– Equipamento removedor de borracha
Fonte: do autor, 2012.

3.2.2 Procedimento da Medição de Atrito

Antes de iniciar a execução da medição de atrito, é necessário preparar o Griptester, pois dessa forma, os dados coletados podem refletir com maior fidelidade à realidade do pavimento, pois calibrações mal feitas podem acarretar em interpretações não condizentes com o aspecto real do pavimento e dessa forma, fomentar um relatório com ações equivocadas.

3.2.2.1 Preparo do *GripTester*

Em se tratando da primeira medição do equipamento, o mesmo deverá ser calibrado de acordo com as características da PPD a ser medida (comprimento da pista, tipo de pavimento, designação do aeroporto/pista, etc.). Após os ajustes segue-se as frequências definidas e dispostas na Tabela 10 ou caso exista um plano especial de manutenção. É importante frisar que toda alteração ocorrida na PPD será necessário fazer uma nova calibração como as seguintes ocorrências:

- a. Ampliação na extensão longitudinal da pista;
- b. Ampliação do comprimento disponível para pouso ou decolagem, caso a medição anterior não contemple o trecho em desuso;
- c. Após intervenção na pista (recapeamento, tratamento superficial) com pelo menos 100 metros de extensão contínua e compreendida parcialmente ou totalmente na faixa de 6 metros do eixo da pista.

Faixa	Pousos diários por cabeceira de aeronaves de asa fixa com motor a reação ou turbojato (média do último ano)	Frequência mínima de medições de atrito
1	Menos de 15	Cada 12 meses
2	16 a 30	Cada 6 meses
3	31 a 90	Cada 3 meses
4	91 a 150	Cada 30 dias
5	151 a 210	Cada 15 dias
6	Mais de 210	Cada 7 dias

Tabela 10 – Frequência das medições de atrito

Fonte: Resolução Nº 236 – ANAC, 2012.

O operador deverá, antes de iniciar a medição de atrito, proceder as seguintes etapas de checagem:

- a. Testar os sistemas do veículo dedicado, transportador e condutor do equipamento, incluindo o carregamento da bateria, que não pode estar com carga abaixo de 10 v para operar;
- b. Descer o *GripTester* do veículo, por meio da rampa com a utilização do guincho, e em seguida recolher a rampa;
- c. Verificar se o tanque de água está abastecido;
- d. Ligar a Unidade Processadora de Sinal (UPS);
- e. Apoiar o *GripTester* com o engate do reboque para o piso, com o eixo de rodas na vertical e realizar o procedimento FACTS (*Free - Alignment - Chain - Tyres - Suspension*),
- f. Verificação rápida da calibração, da seguinte forma:
 1. Movimentar o equipamento para trás e para frente, pressionando e soltando-o contra o piso por meio da grade de proteção (*Guardrail*),
 2. Selecionar o modo de calibração e teclar *enter* utilizando os botões *menu selection* da Unidade Processadora de Sinal (UPS),
 3. Pressionar para baixo a grade de proteção na parte da frente do *GripTester* de modo que a roda de medição fique minimamente fora do piso (até 10 mm). O mostrador digital indicará o *load zero* a ser atingido à esquerda e a carga real à direita. A leitura deve ser 0000 ± 0010 ,

4. Verificar novamente o procedimento FACTS,
- g. Retirar o suporte metálico, reboque do *GripTester*, localizado na lateral interna do veículo;
- h. Fixar o suporte metálico ao *GripTester* e engatá-lo no reboque do veículo. Deverá ser inspecionada a posição de encaixe da bola de reboque antes de cada utilização;
- i. Conectar a mangueira do suporte metálico ao *GripTester* e à saída de água na parte inferior esquerda do veículo;
- j. Conectar o *GripTester* ao *notebook* por meio do cabo de sinal ou do sistema sem fio via *Bluetooth*;
- k. Abrir a válvula localizada abaixo do tanque de água do lado esquerdo para liberar o fluxo de água para uso na medição de atrito;
- l. Ligar o sistema de controle de aspersão de água (AWS - *Automatic Watering System*) e o GPS localizado na parte superior do tanque;
- m. Configurar o *software Airbase* no *notebook* do equipamento com as características da pista e da corrida;
- n. Iniciar a movimentação do aparelho de medição de atrito e verificar a saída de água pelo bico espargidor;
- o. Posicionar a roda de medição no início do trecho de pista a ser medido o atrito;
- p. Realizar a corrida de medição de atrito com o aparelho devidamente aferido e calibrado, conforme procedimentos e recomendações especificados no manual do fabricante;
- q. Finalizar a medição, realizar os tramites para salvar os resultados dos estudos no *software Airbase*;
- r. Limpar o equipamento.

3.2.2.2 Procedimento de Ensaio

Após a checagem, o *GripTester* deverá ser posicionado a partir da cabeceira de maior número de pouso. O operador deverá ligar o sistema de rega e então iniciar a corrida ao longo da PPD sobre uma lâmina de um milímetro (Figura 38). A coleta de dados iniciará no momento em que o equipamento atingir a velocidade de 65 km/h. Dessa forma, os primeiros 100 metros não serão computados, pois é o intervalo necessário para atingir a velocidade de medição.



Figura 38– Fluxo emitido pelo sistema de rega.
Fonte: do autor, 2012.

O veículo deverá percorrer ambos os sentidos, em alinhamentos paralelos, distantes três e seis metros de cada lado do eixo (Figura 39), de acordo com a aeronave crítica que opera no aeroporto e conforme o definido no RA 236 (Tabela 11). Após a conclusão da corrida, os dados coletados serão enviados via *bluetooth* para o *notebook* e processados através do *software Airbase*.

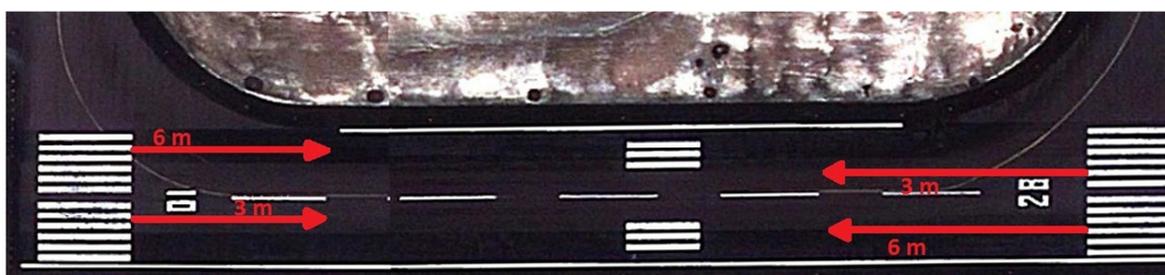


Figura 39 – Distância do percurso durante a medição de atrito.
Fonte: do autor, 2012.

Classe de Referência (vide RBAC 154)	Localização da Medição	Quantidade Mínima
Aeródromo com operação de aeronave com letra do código A, B ou C	Distante 3 m do eixo da Pista	Uma vez de cada lado da Pista
Aeródromo com operação de aeronave com letra do código D, E ou F	Distante 3 m e 6 m do eixo da Pista	Uma vez de cada lado da Pista, para cada distância em relação ao eixo da Pista

Tabela 11 – Localização das medições de atrito.
Fonte: Resolução N° 236 – ANAC, 2012.

Nota-se que os códigos referentes na primeira coluna da Tabela 8 são em função da envergadura e distancia entre as rodas externas do trem principal da aeronave de projeto constantes na Tabela A-1 do Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC 154)

Os parâmetros mínimos referentes à medição de atrito podem ser observados na Tabela 11. Os coeficientes estão dispostos conforme o modelo de medidor. De acordo com a Tabela 12, os valores de atrito determinados pelo *GripTester* são classificados como:

Pista Nova – $\mu > 0,74$;

Pista Segura Não Supervisionada – $0,53 < \mu < 0,74$

Pista Segura Supervisionada – $0,43 < \mu < 0,53$

Pista Insegura – $0,43 > \mu$

Sempre que ocorrerem índices de atrito abaixo de 0,24, a PPD será considerada insegura para operações de aeronaves. Dessa forma será emitido um documento chamado *Notice to Airman* (NOTAM) o qual tem por finalidade divulgar, antecipadamente, toda informação aeronáutica de interesse direto e imediato à segurança, regularidade e eficiência da navegação aérea. Segundo a RA 236, admite-se 2,5% de tolerância sobre os valores obtidos para coeficiente de atrito.

Equipamento	Pneu		Velocidade de teste (km/h)	Espessura da Lâmina de água (mm)	Coeficiente de Atrito Mínimo		
	Tipo	Pressão (kPa)			Pavimentos novos	Nível de manutenção	Nível aceitável
MuMeter	A	70	65	1,0	0,72	0,52	0,42
	A	70	95	1,0	0,66	0,38	0,26
Skiddometer	B	210	65	1,0	0,82	0,6	0,5
	B	210	95	1,0	0,74	0,47	0,34
Surface friction Tester Vehicle	B	210	65	1,0	0,82	0,6	0,5
	B	210	95	1,0	0,74	0,47	0,34
Runway Friction Tester Vehicle	B	210	65	1,0	0,82	0,6	0,5
	B	210	95	1,0	0,74	0,54	0,41
TATRA	B	210	65	1,0	0,76	0,57	0,48
	B	210	95	1,0	0,67	0,52	0,42
Griptester	C	140	65	1,0	0,74	0,53	0,43
	C	140	95	1,0	0,64	0,36	0,24

Tabela 12 – Parâmetros de coeficiente de atrito por tipo de equipamento de medição.
Fonte: Resolução Nº 236 – ANAC, 2012.

4 Discussão dos Resultados

Apresentam-se as análises dos resultados obtidos por meios de ensaios de campo (atrato e macrotextura) realizados na Pista de Pouso e Decolagem do Aeroporto Internacional Eduardo Gomes (SBEG). Executaram-se os ensaios no horário da manhã, compreendidos entre 8:00h a 11:40h, abrangendo o período de abril de 2012 a julho de 2014. A justificativa para atividades durante o primeiro expediente decorre da baixa movimentação de pouso e decolagem. Em ambos os experimentos a condição climática oscilou entre ensolarado a nublado e a temperatura ambiente indicou variações entre 25° C a 31,4° C. Para uma melhor precisão e ilustração utilizou-se um termovisor que possibilitou detectar temperaturas em torno de 49,6° C e 31,5° C no pavimento e no ambiente, respectivamente (Figura 40). É importante ressaltar que os citados ensaios (atrato e macrotextura) não podem ser efetivados em condições climáticas com precipitação.

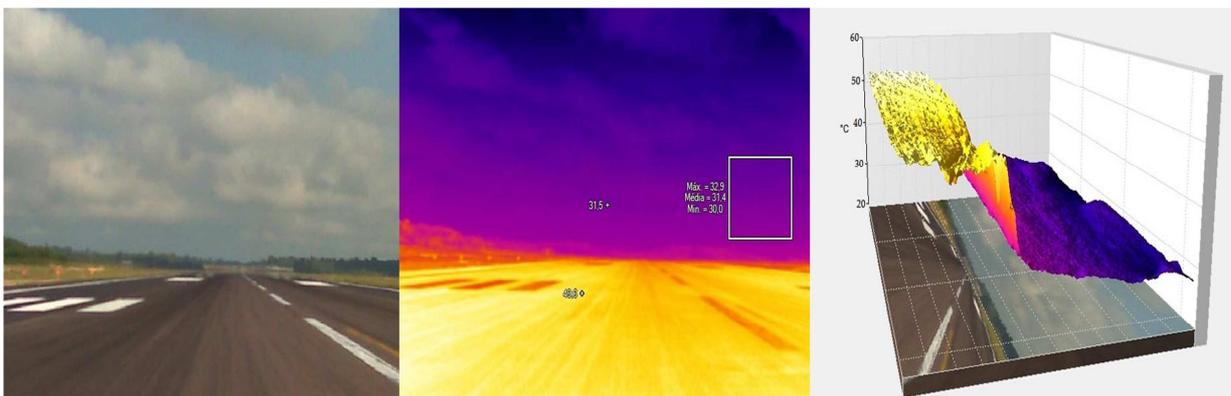


Figura 40- Coleta de temperatura com utilização de aparelho termovisor.
Fonte: do Autor.

4.1 Determinação da Frequência de Ensaio

A quantidade mínima de ensaios a realizar em uma Pista de Pouso e Decolagem (PPD) é determinada pela frequência de pousos na cabeceira predominante. A resolução N° 236 da ANAC estabelece que o número mínimo de medições de atrito e macro textura depende do movimento no último ano de aeronaves de asa fixa com motor a reação (motor a jato). No SBEG os testes são realizados a cada 90 dias, correspondente ao intervalo de 31 a 90 pousos diários por cabeceira. Analisando os dados fornecidos pelo Sistema de Monitoramento de Superfícies de Pavimentos (SMSP), verifica-se que a predominância da citada cabeceira 10 ocorre em cerca de 98%. Com

base nas informações visualizadas no gráfico de pousos por cabeceira (Figura 41), pode-se concluir que a frequência adotada para os devidos experimentos, encontra-se de acordo com o preconizado na mencionada resolução.

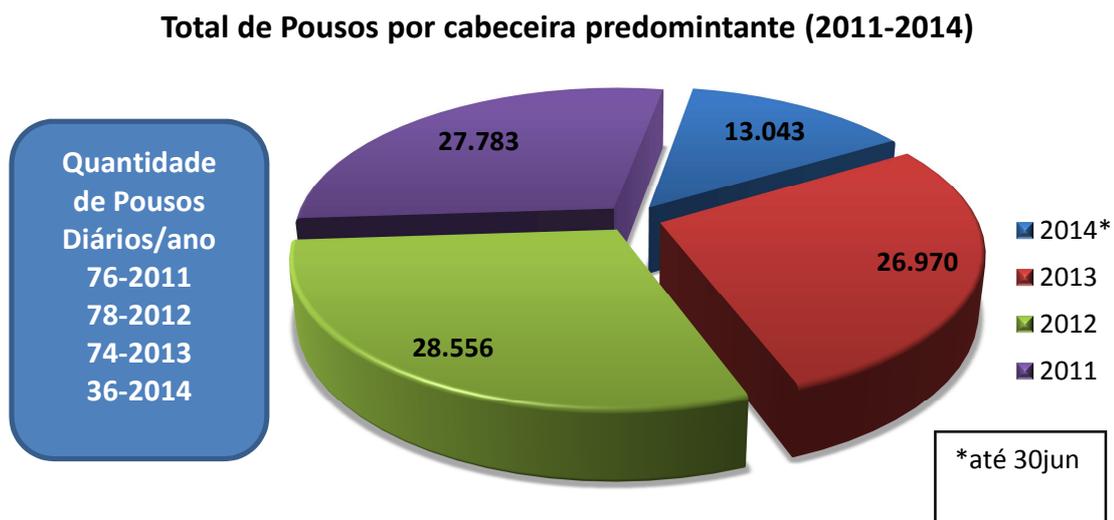


Figura 41 – Totais de pousos por cabeceira no período de 2011 a junho de 2014.
Fonte: Dados operacionais da INFRAERO.

4.2 Ensaio de Macrotextura

Seguindo o estabelecido na resolução N° 236 (ANAC), executou-se o ensaio da mancha de areia ao longo de toda a PPD acompanhando o sentido da cabeceira de maior solicitação, ou seja, 10 para 28.

4.2.1 Ano de 2012

Na Figura 42 observa-se que os índices de macrotextura começam com valor igual a 2,01mm nos primeiros 100 metros, depois diminuem até um resultado de 0,72mm nos 400 metros, em seguida se elevam mostrando a faixa 0,78 a 2,16mm no intervalo entre 500 e 1.900 metros, na sequência atingem seu maior valor (2,53mm) em 2000 metros, e deste ponto até atingir os 2600 metros indicam variação de 1,94 a 2,38mm. Em resumo, os valores apresentam-se decrescentes na faixa de 300 a 700 metros e então, revelam crescimento no restante da PPD. Tais resultados permaneceram acima do valor mínimo tolerado ($m = 0,60\text{mm}$).

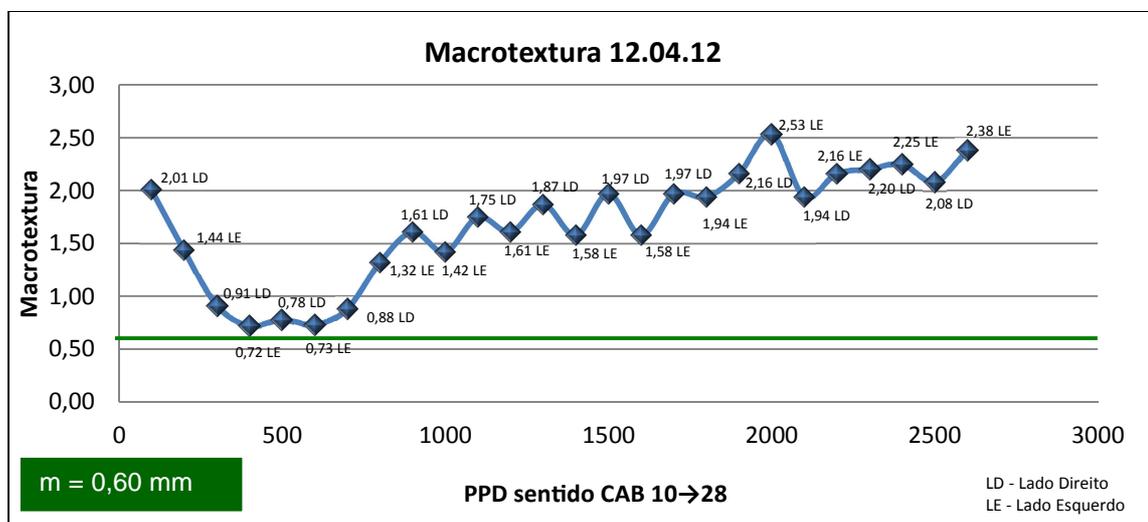


Figura 42 – Perfil longitudinal da macrotextura, mês de abril/2012.
Fonte: INFRAERO.

Em relação aos dados do mês de julho observa-se um comportamento semelhante aos obtidos em abril, com decréscimo logo após os 100 metros, e aumento em seguida os 700 metros, variando a profundidade no comprimento restante da PPD entre 2,0 a 2,40mm. Igualmente, a exemplo do ensaio anterior os valores mantiveram-se acima do mínimo. A Figura 43 indica a variação desses índices.

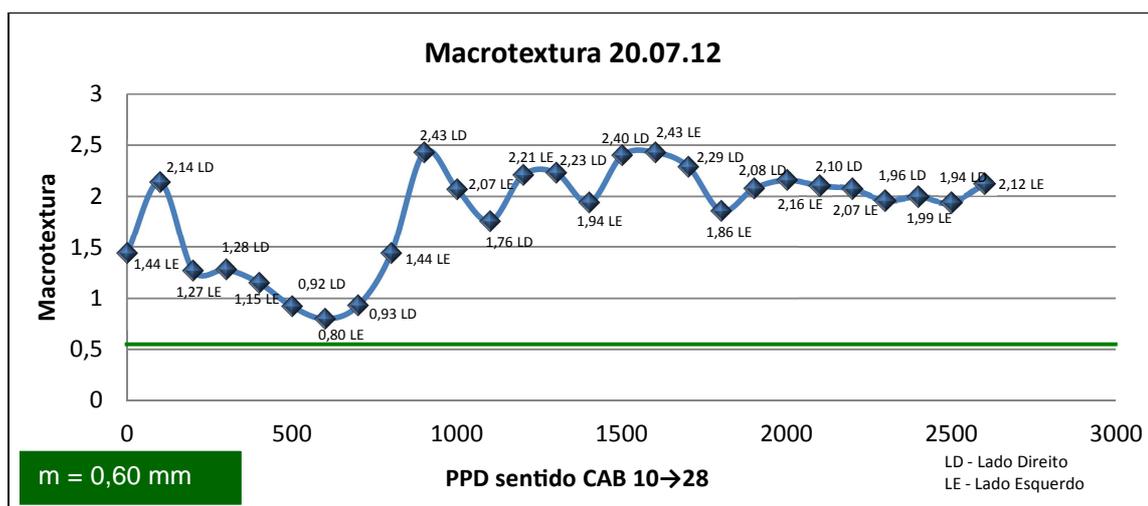


Figura 43 - Perfil longitudinal da macrotextura, mês de julho/2012.
Fonte: INFRAERO.

O gráfico referente a outubro (Figura 44) exibiu, em geral, resposta análoga aos demais. Novamente os valores mostraram um decréscimo a 100 metros, retomando o crescimento na faixa dos 800 metros, e mantendo o intervalo de 1,57 a 2,45mm até o final da PPD. Observando-se esse perfil longitudinal, fica evidente a variação da macrotextura no primeiro terço da pista.

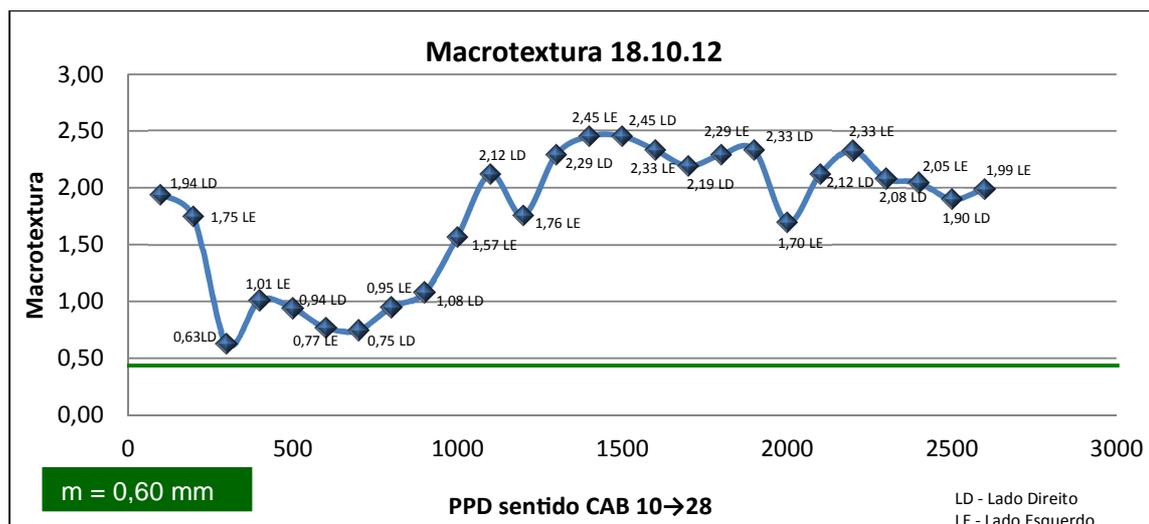


Figura 44 - Perfil longitudinal da macrotextura, mês de outubro/2012.
Fonte: INFRAERO.

4.2.2 Ano de 2013

No mês de janeiro os resultados (Figura 45) não divergiram do padrão respeitante ao ano de 2012. Os valores expuseram queda a partir dos 200 metros ($m = 1,96\text{mm}$) e regresso a valores mais altos começando a 900 metros, conservando-se, assim, no intervalo de 2,00 a 2,50mm ao longo da PPD. Nota-se, ainda, que a 2.700 metros a macrotextura decresceu bruscamente. Este ponto não considera-se, porquanto a aeronave não chega a atingir tal faixa. A revisão da resolução N°236 aceita que os ensaios se iniciem no marco zero da PPD e continuem até a faixa final (2.700 metros).

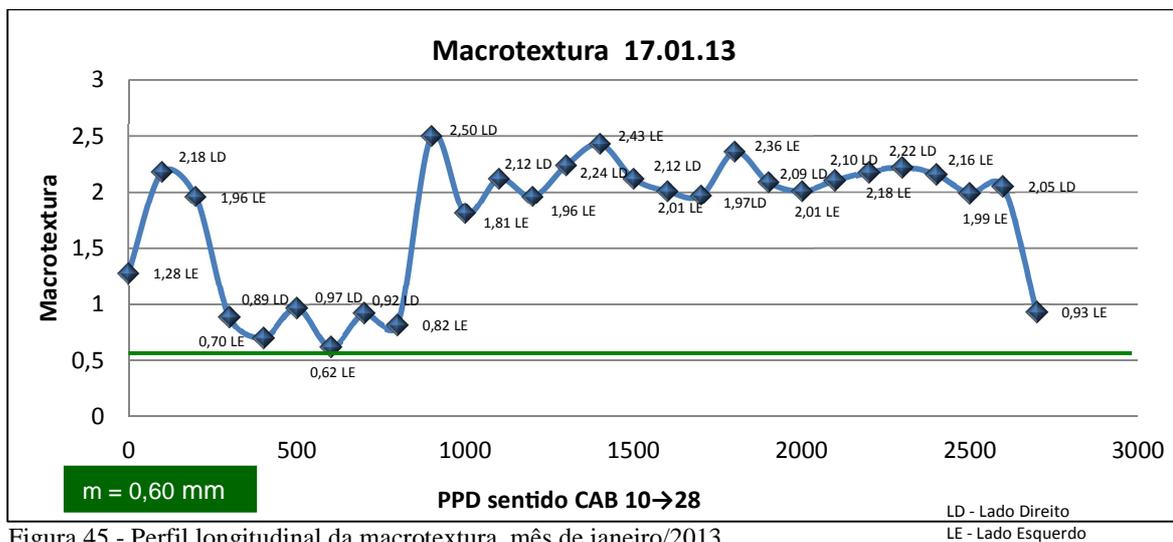


Figura 45 - Perfil longitudinal da macrotextura, mês de janeiro/2013.
Fonte: INFRAERO.

No mês de abril os valores de macrotextura decresceram em seguida os 100 metros, e na faixa dos 900 metros voltaram a crescer no intervalo 2,00 a 2,50mm, em praticamente toda a PPD. Ressalta-se que na faixa dos 2.700 metros o resultado baixou substancialmente, no padrão do mês anterior. O perfil longitudinal (Figura 46) ilustra bem esse comportamento.

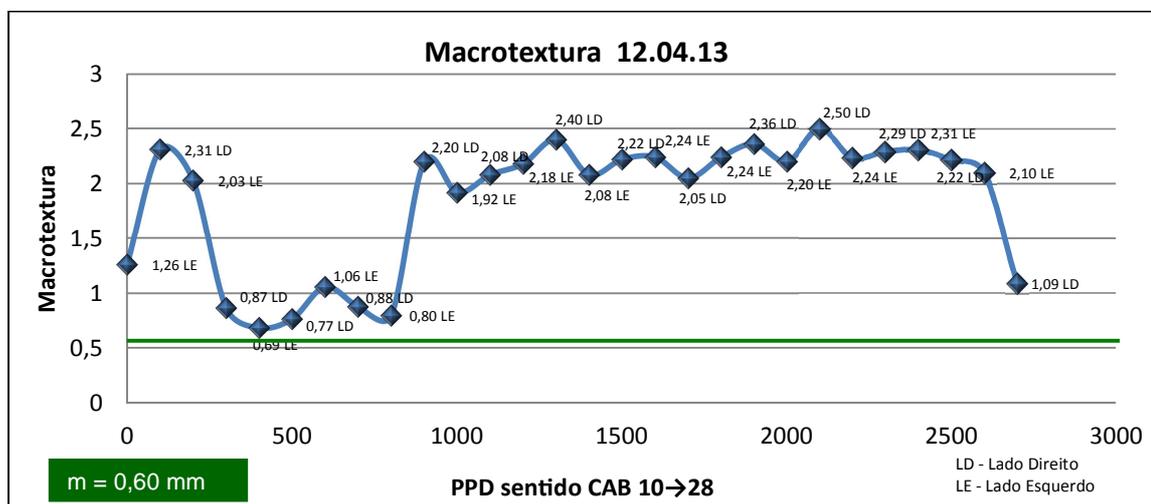


Figura 46- Perfil longitudinal da macrotextura, mês de abril/2013.
Fonte: INFRAERO.

Em julho os índices, a exemplo dos resultados passados, proporcionaram comportamentos análogos. Porém, pela primeira vez, teve-se valor abaixo do nível tolerado. Na faixa dos 700 metros a macrotextura apresentou 0,58 mm, mostrou crescimento na faixa dos 900 metros,

permanecendo o percurso restante da PPD, no intervalo entre 2,0 a 2,5mm. No perfil longitudinal presente na Figura 47 tem-se o explanado.

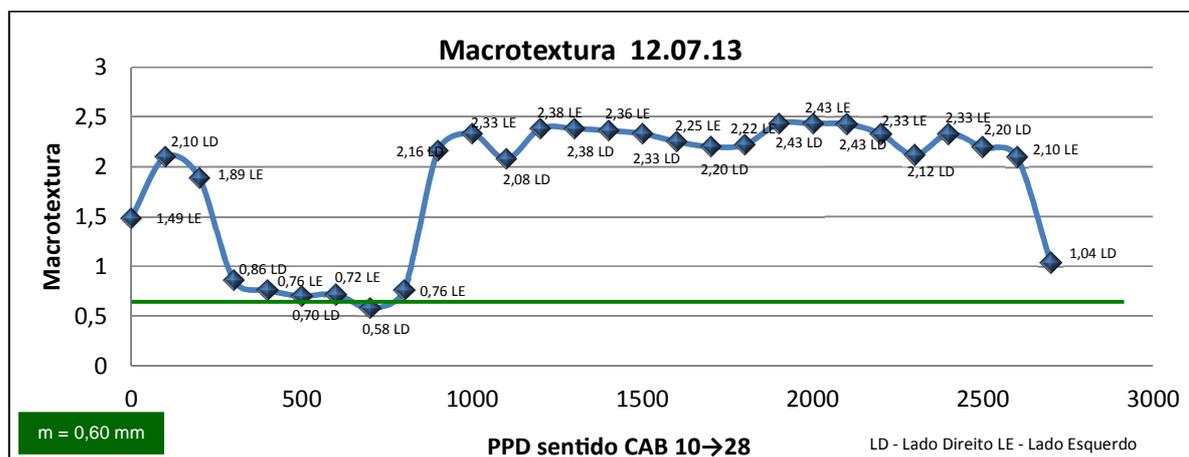


Figura 47- Perfil longitudinal da macrotextura, mês de julho/2013.

Fonte: INFRAERO.

No mês de outubro os índices tenderam ao decréscimo nas primeiras faixas da PPD e ao molde do mês de julho, pela segunda vez o valor ficou abaixo dos 0,60mm. Na faixa dos 200 metros a macrotextura chegou a 0,59mm e retomou seu crescimento na faixa dos 800 metros. Todavia, os índices, mesmo estando acima do estimado ao longo de toda PPD, apresentaram valores baixos se comparados aos resultados anteriores, ou seja, dos 800 metros em diante os valores variaram entre 1,07 a 2,14mm. No perfil do mês de julho (Figura 48) pode-se visualizar essa variação.

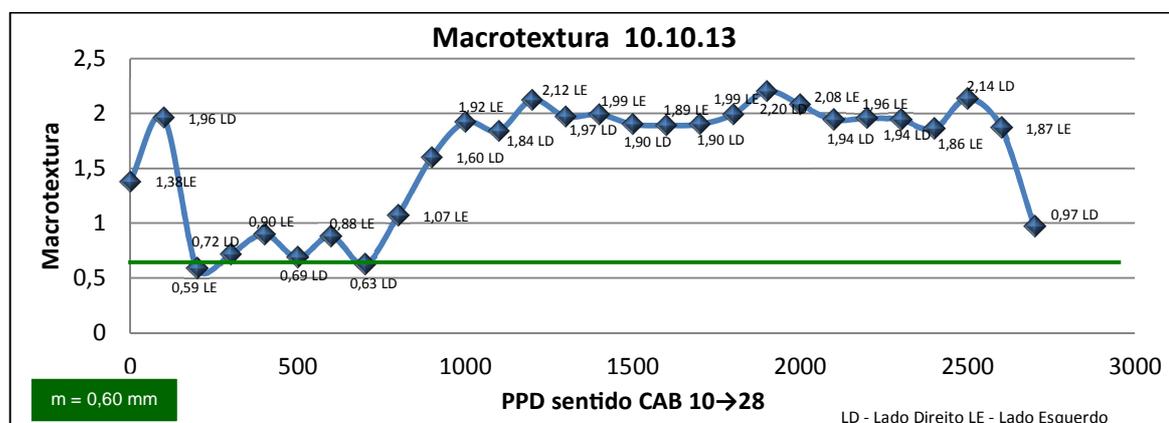


Figura 48 - Perfil longitudinal da macrotextura, mês de outubro/2013

Fonte: INFRAERO

4.2.3 Ano de 2014

Verifica-se na Figura 49, referente ao mês de janeiro, que os índices de macrotextura já iniciam em declínio nos primeiros 100 metros. Nos 900 metros em diante, a profundidade manteve-se no intervalo entre 1,69 e 2,45 mm e na faixa dos 2.500 metros, os valores decresceram novamente.

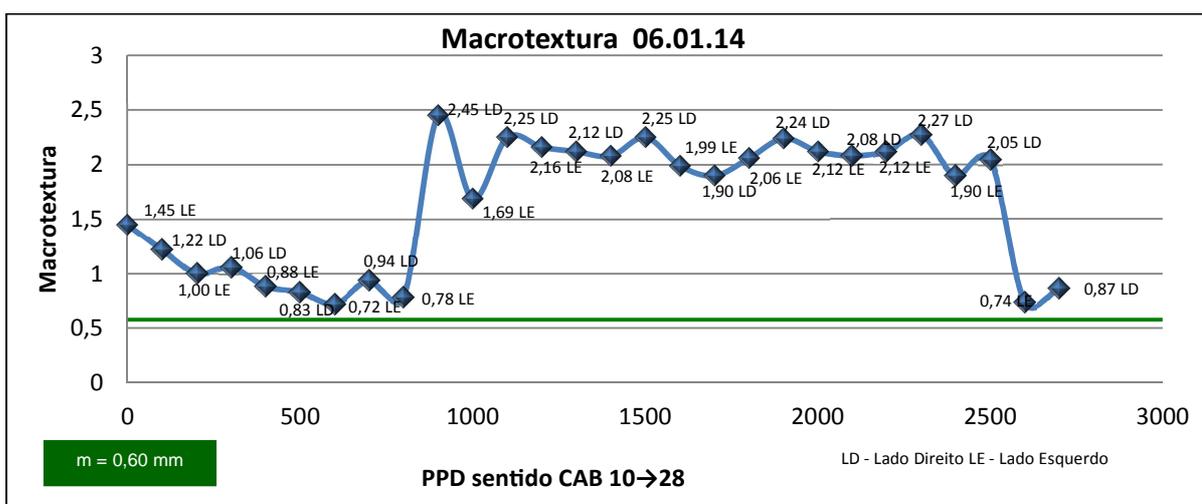


Figura 49- Perfil longitudinal da macrotextura, mês de janeiro/2014.
Fonte: INFRAERO.

No mês de abril, após os primeiros 800 metros, os valores se elevam e conservam-se no segmento 1,69 a 2,45mm até os 2.600 metros. Contudo, é interessante verificar na Figura 50 que na cabeceira 10 por duas vezes a macrotextura apresentou dados abaixo do tolerado — em 200 e 700 metros os índices foram 0,58mm e 0,59mm, respectivamente.

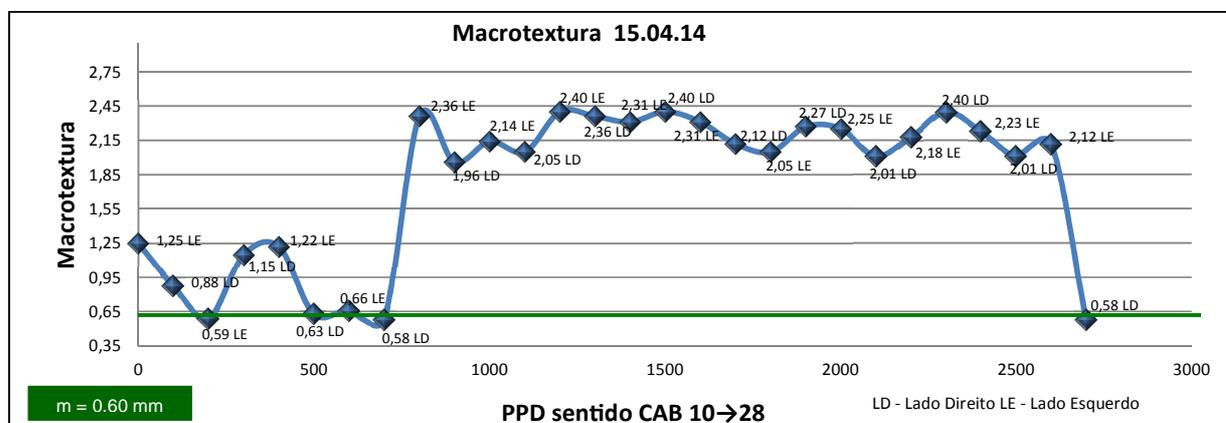


Figura 50- Perfil longitudinal da macrotextura, mês de abril/2014.
Fonte: INFRAERO.

Em julho os resultados já divergiram um pouco ao padrão dos anteriores. Mesmo expondo baixos valores nos primeiro 700 metros, em seguida aos 800 metros o parâmetro cresce gradativamente até os 1.000 metros, quando então os índices indicam uma grande modificação, oscilando de 3,20mm a 2,29mm. Na faixa dos 2.400 metros a macrotextura decaiu bruscamente, retornando a um alto valor nos 2.600 metros. Na Figura 51 constata-se essa grande mudança. Essa situação pode estar relacionada deficiência na execução do desemborrachamento.

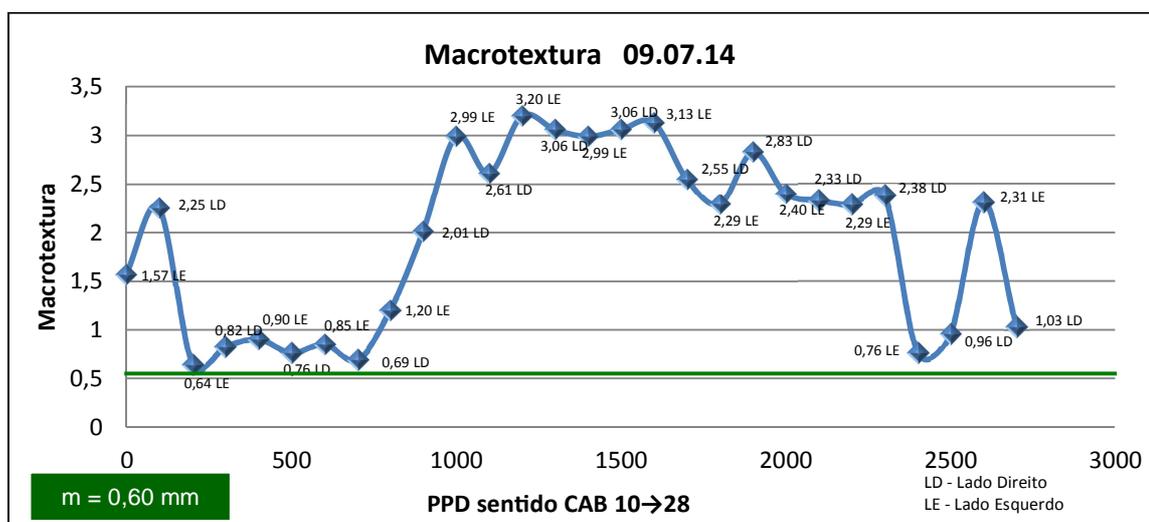


Figura 51 - Perfil longitudinal da macrotextura, mês de julho/2014.
Fonte: INFRAERO.

4.2.4 Resumo 2012-2014

Inserindo conjuntamente os perfis longitudinais alusivos ao ano de 2012 (Figura 52), pode-se confirmar similar comportamento nos três ensaios. Esse resultado deve-se ao acúmulo de borracha compreendida entre 150 metros a 800 metros. Esta área é definida como zona de toque — área indicada para pouso das aeronaves, portanto, com maior quantidade de pouso e decolagem (cabeceira predominante). Dessa forma, o acúmulo de borracha em decorrência do alto volume de operações reflete os ensaios executados, todavia mantendo seus níveis acima do estipulado. Em particular, no mês de setembro realizou-se intervenção na cabeceira 10, no trecho começando nos 270 metros (540 x 14 metros), que compreendeu serviços de fresagem e recomposição de camada asfáltica. Apesar do novo revestimento, não houve uma melhoria substancial no mês outubro. Acredita-se que tal resultado deve-se ao fato do pavimento mostrar características do tipo III, isto é, com macrotextura bem fechada e microtextura bastante rugosa.

Esse tipo de estrutura é típico de pavimentos recém-construídos. Com o transcorrer do tempo a textura tende a se enquadrar no tipo I, o que significa boa qualidade de macro e microtextura.

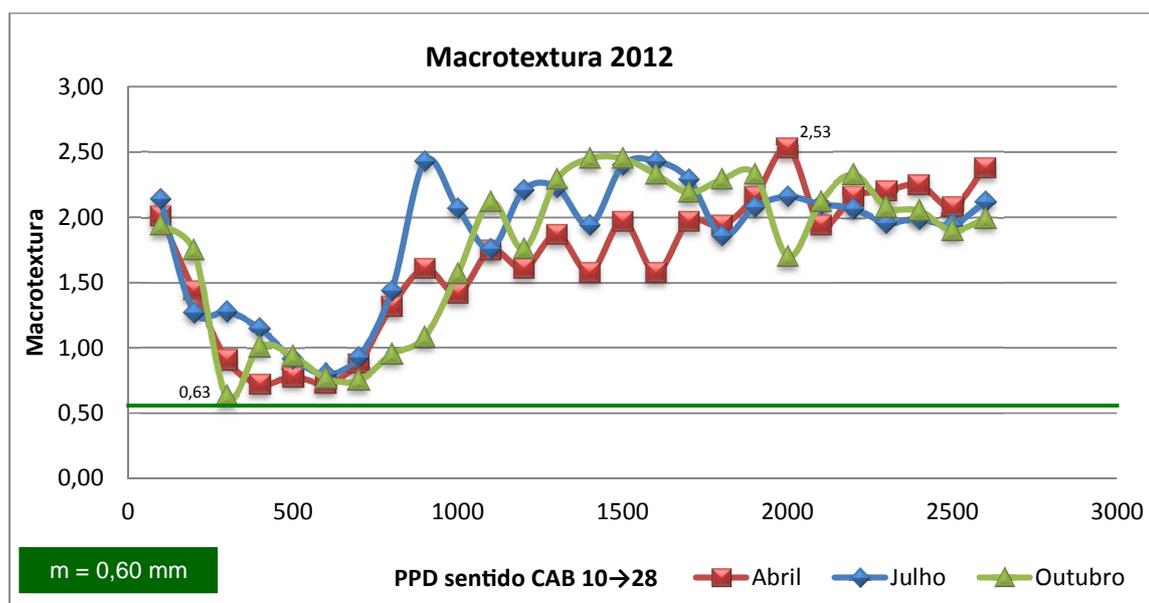


Figura 52 - Perfil longitudinal consolidado, meses de abril, julho e outubro/2012.

Fonte: INFRAERO.

Transferindo os ensaios de 2013 para um mesmo gráfico (Figura 53), observa-se, com pequenas alterações, um desempenho semelhante ao ano de 2012. Ressaltam-se também valores isolados e abaixo do nível tolerado nos meses de outubro e julho, e os demais no mesmo intervalo de profundidade ao longo da PPD. Lembra-se que no mês de agosto executou-se nova intervenção na PPD, nas cabeceiras 10 e 28, sendo o revestimento recomposto no primeiro terço a partir dos 100 metros (sentido 10/28), com área de 165m de comprimento por 14m de largura, e no último terço (sentido 28/10), seguindo os 100 metros (200m x 23m). Por conseguinte, nessas áreas revitalizadas os valores de macrotextura proporcionaram baixas profundidades, seguindo o mesmo princípio dos serviços de recuperação do ano 2012 — pavimento tipo III com textura mais fechada. Como consequência, alguns pontos apresentaram valor próximo a 0,60mm ou abaixo, exemplo na faixa dos 200 metros cuja profundidade chegou a 0,59mm. Novamente tem-se que, gradativamente com o aumento do tráfego, a textura tende a melhorar pela remoção de materiais finos mais superficiais.

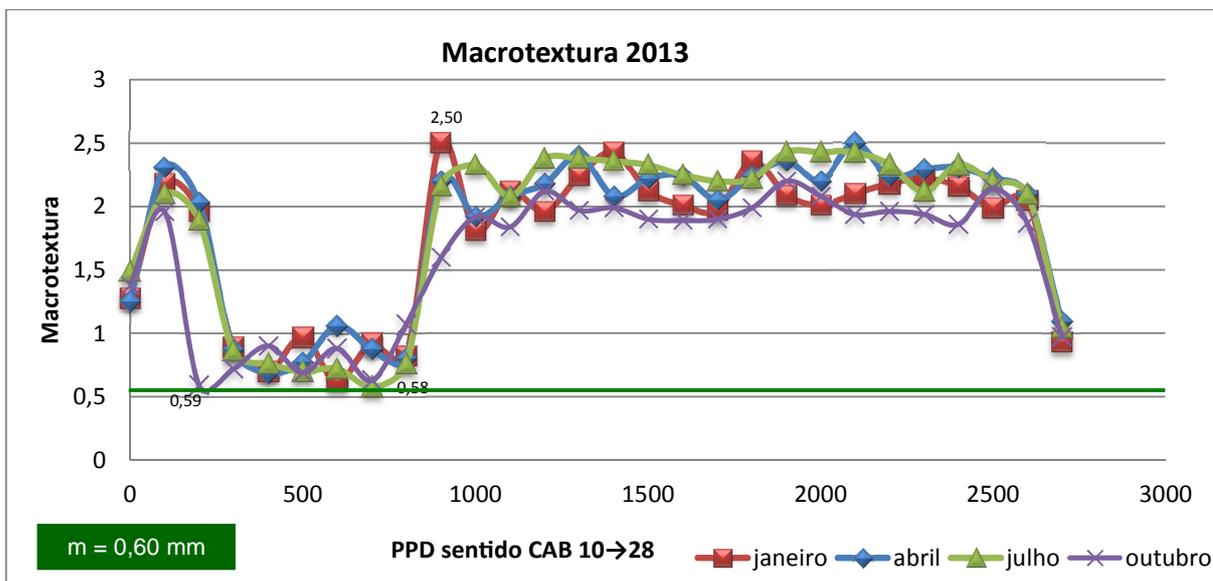


Figura 53 - Perfil longitudinal consolidado, meses de janeiro, abril, julho e outubro/2013.

Fonte: INFRAERO.

No ano de 2014 observa-se uma pequena melhoria na área alusiva à cabeceira 10. Tal fato pode ser devido à última intervenção ocorrida, porem os demais meses expuseram uma média abaixo de janeiro. Esse comportamento pode ser creditado à situação do novo pavimento atrelado ao acúmulo de borracha no local. Nota-se, igualmente, que no mês de julho houve maior variação na profundidade, tendo-se o menor (0,58 mm) e o maior valor de macrot textura (3,20 mm), conforme o gráfico consolidado na Figura 54.

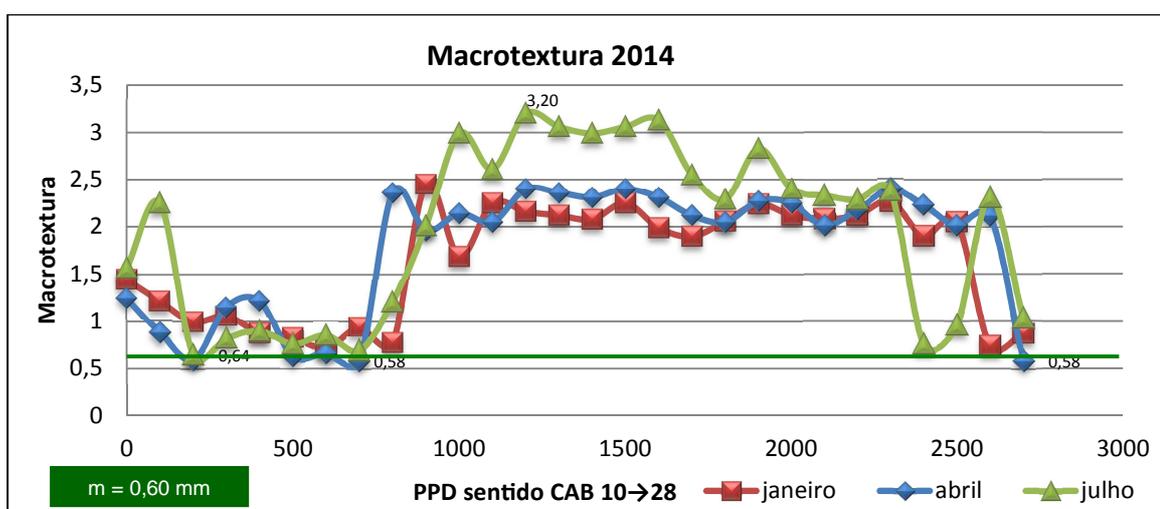


Figura 54- Perfil longitudinal consolidado, meses de janeiro, abril e julho/2014.

Fonte: INFRAERO

4.3 Ensaios Atrito

4.3.1 Ano de 2012

Observa-se no mês de abril que o atrito apresentou queda nos seus valores relativos à faixa dos 1500 até os 2100 metros. Tal resultado mostrou-se no nível de manutenção. Assim, de acordo com a resolução ANAC N° 236 fez-se necessário a execução do desemborramento com intuito de elevar novamente os coeficientes. Tais parâmetros, no sentido transversal, foram consolidados por segmento de 100 metros visando obter um perfil longitudinal (Figura 55) do atrito em toda extensão da PPD, refletindo o exposto no relatório emitido pelo *Griptester*. Com base nessa linha de raciocínio, os índices médios de atrito (IMA) desenvolveram uma regularidade de baixos valores a partir dos 1.500 até os 2.600 metros, elevando somente na faixa dos 2.300 metros. A condição da PPD se encontrava em nível de manutenção quase próximo ao nível crítico, o que justificava a intervenção para remoção dos resíduos de borracha. Analisando a média geral dos índices no sentido transversal (Figura 56), percebe-se uniformidade de valores, o que provavelmente reflete a oscilação de aterrissagem dentro do espaço dos 12 metros de largura.

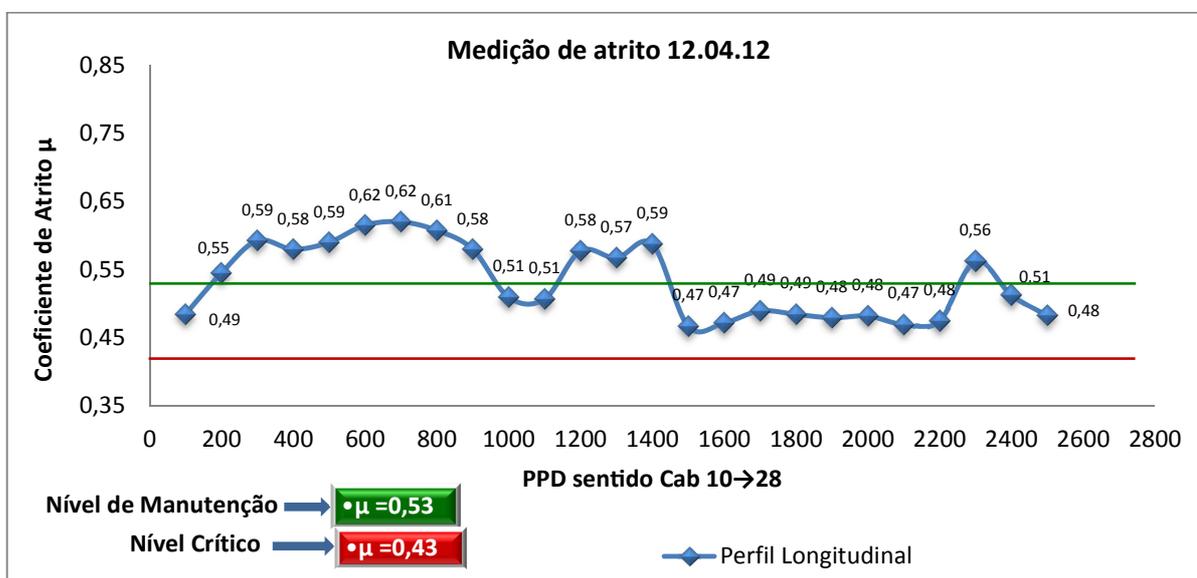


Figura 55 - Perfil longitudinal dos índices de atrito, mês de abril/2012.

Fonte: INFRAERO.

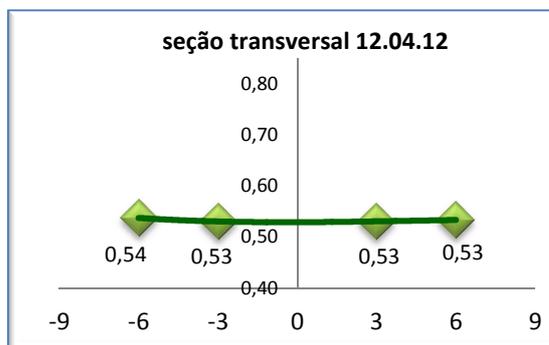


Figura 56- Perfil transversal dos índices de atrito, mês de abril/2012.
Fonte: INFRAERO.

No mês de julho, nota-se uma melhoria nos resultados do atrito. Em alguns pontos os valores de μ chegaram a 0,76, pontualmente. Acredita-se que tal fato seja decorrente dos serviços de desemborachamento. Verificando os resultados do perfil longitudinal (Figura 57), observa-se que os índices de atrito apresentaram substancial melhoria se comparada ao mês de abril. Todos os valores ficaram acima do nível de manutenção, a exceção da faixa dos 2.400m que mostrou $\mu = 0,49$. Não obstante, resultados atinentes ao 3º terço indicaram baixos valores se comparado ao 1º terço, o mesmo ocorrendo para o mês de abril. Conferindo os resultados em uma seção transversal (Figura 58), tem-se que no intervalo dos três metros μ mostra baixos valores remissivos ao intervalo dos seis metros. Lembra-se que no período compreendido entre abril e julho, principalmente no mês de junho que coincide com o Festival de Parintins (município amazonense distante 369 km da capital) ocorreu maior volume de pousos das aeronaves.

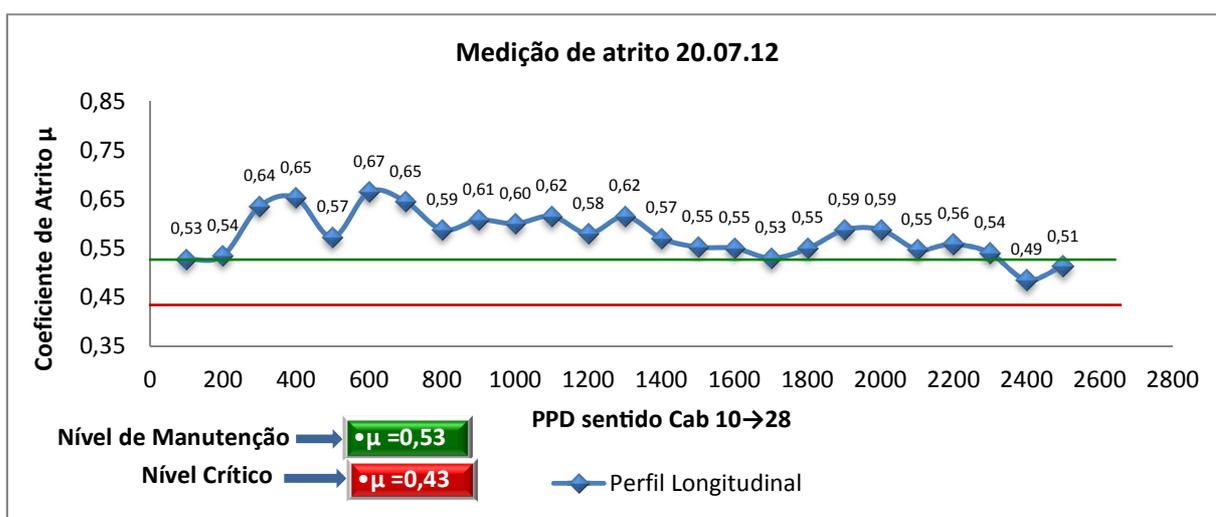


Figura 57 - Perfil longitudinal dos índices de atrito, mês de julho/2012.
Fonte: INFRAERO

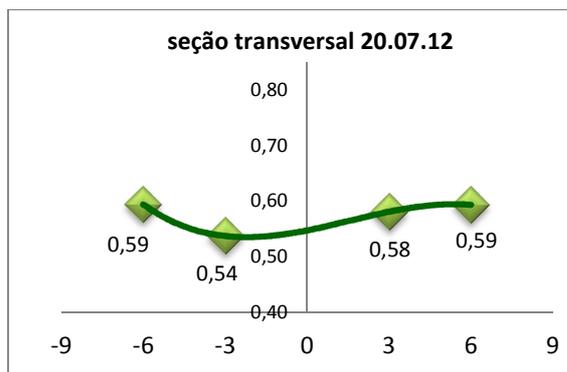


Figura 58 - Perfil transversal dos índices de atrito, mês de julho/2012.
Fonte: INFRAERO.

O último relatório do ano, sugestivo ao mês de outubro, apresentou os melhores valores de μ , na faixa dos 1.300 metros ($\mu = 0,82$). Segundo a resolução N°236 ANAC valores de μ acima 0,73 enquadram-se como pavimento novo. Compilando os resultados no perfil longitudinal constante na Figura 59, nota-se uma substancial evolução nos índices de atrito. Todos os coeficientes posicionaram-se, sem exceção, acima do nível de manutenção. Os valores no 2º terço indicaram altos índices de atrito e aqueles referentes ao 1º, 2º e 3º apresentaram, basicamente, o mesmo nível. Examinando os coeficientes em uma seção transversal (Figura 60), têm-se dados mais elevados em comparação aos demais meses anteriores. No entanto, ocorreu uma discrepância, no intervalo dos seis metros o lado esquerdo mostrou $\mu = 0,66$, indicativo ao lado direito nos três metros com valor de $\mu = 0,63$.

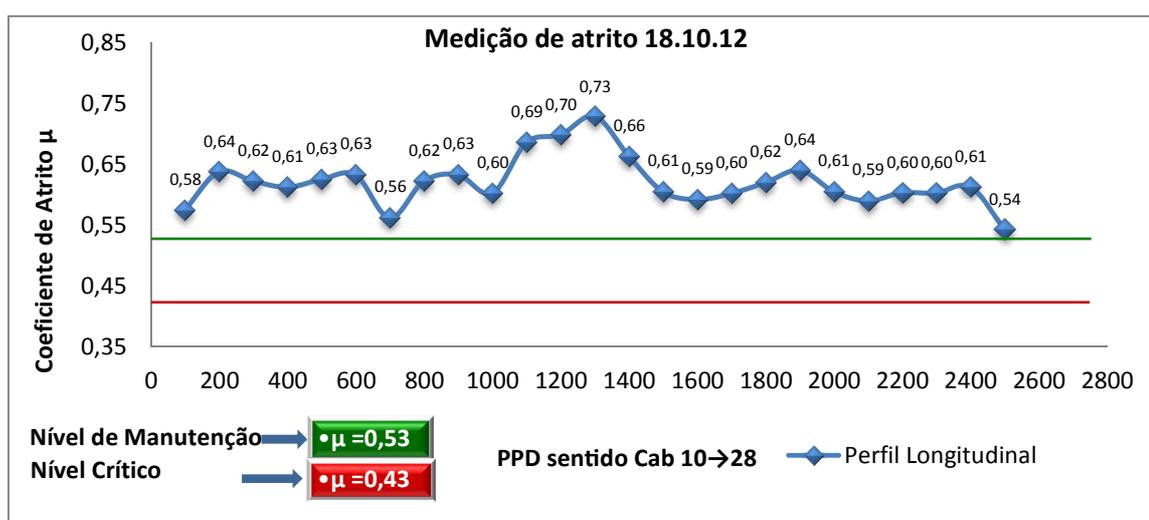


Figura 59 - Perfil longitudinal dos índices de atrito, mês de outubro/2012.
Fonte: INFRAERO.

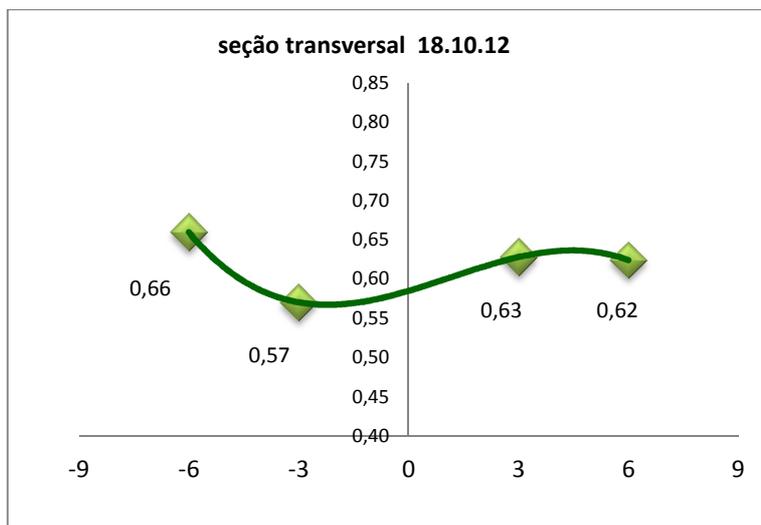


Figura 60- Perfil transversal dos índices de atrito, mês de outubro/2012.
Fonte: INFRAERO.

4.3.2 Ano de 2013

A medição realizada no mês de janeiro mostrou índices pontuais com características de pavimentos novos, na faixa dos 1.300 metros e no intervalo dos seis metros, tanto a esquerda como a direita, com valores iguais a $\mu = 0,74$, pontualmente. Ao converter os índices para um perfil longitudinal (Figura 61) percebe-se uma linha comportamental semelhante ao ensaio anterior (outubro de 2012), porem com os dados mais baixos e, em casos, como na faixa dos 100 metros, o valor computado foi de $\mu = 0,51$, indicando assim, nível de manutenção. Os demais resultados mantiveram-se acima de 0,53 em toda extensão da PPD, a exceção da faixa dos 700 metros, cujo coeficiente atingiu igualmente o limite de manutenção. Verificando o atrito no sentido transversal (Figura 62), observam-se valores menores na faixa dos três metros (lado esquerdo e direito). Esses índices podem refletir maior quantidade de aeronaves operando nesse período com trens de pouso compreendidos na seção dos três metros, porquanto apresentou valores pontuais baixos variando de 0,46 a 0,51 em ambos os lados.

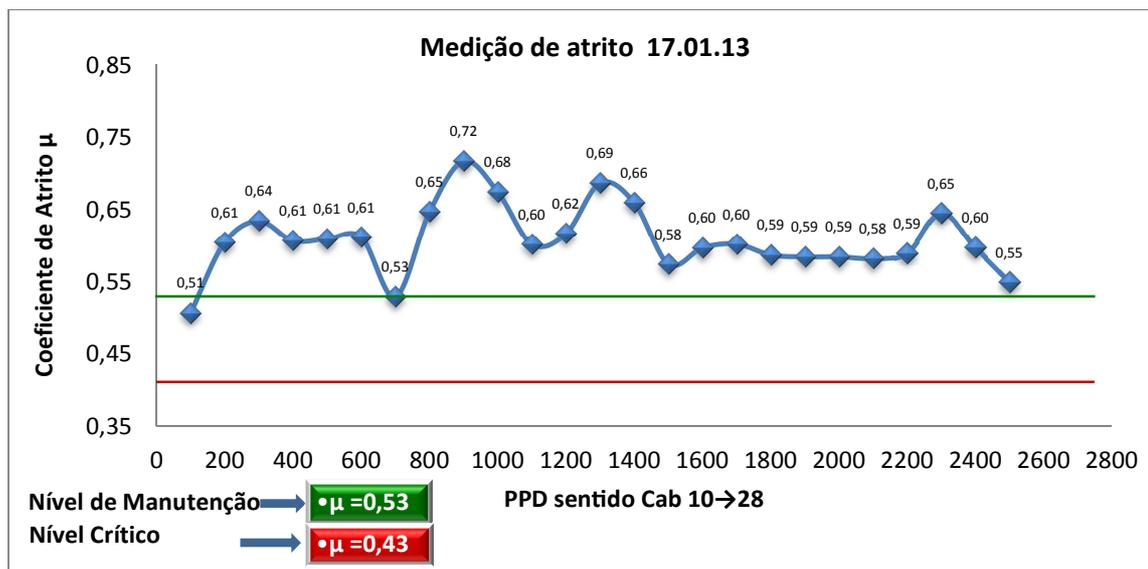


Figura 61 - Perfil longitudinal dos índices de atrito, mês de janeiro/2013.
 Fonte: INFRAERO

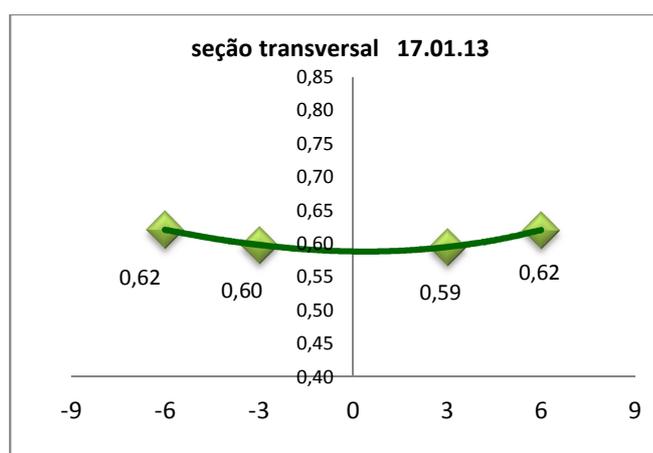


Figura 62- Perfil transversal dos índices de atrito, mês de janeiro/2013.
 Fonte: INFRAERO.

No mês de abril observaram-se altos valores no entorno dos 800 metros, alguns pontos chegando a $\mu=0,73$. Analisando os dados longitudinalmente (Figura 63), notam-se índices de atrito bem acima do nível de manutenção, e o menor coeficiente ficou na ordem de $\mu=0,58$. A partir dos 1.400 metros o atrito conserva-se até os 2.300 metros, e na sequência os índices começaram a baixar. Em um perfil transversal (Figura 64), observa-se que o lado esquerdo apresentou uma pequena alta em relação ao direito, porem de forma discreta. Pode-se atribuir essa variação a homogeneidade de aeronaves operando nessa ocasião.

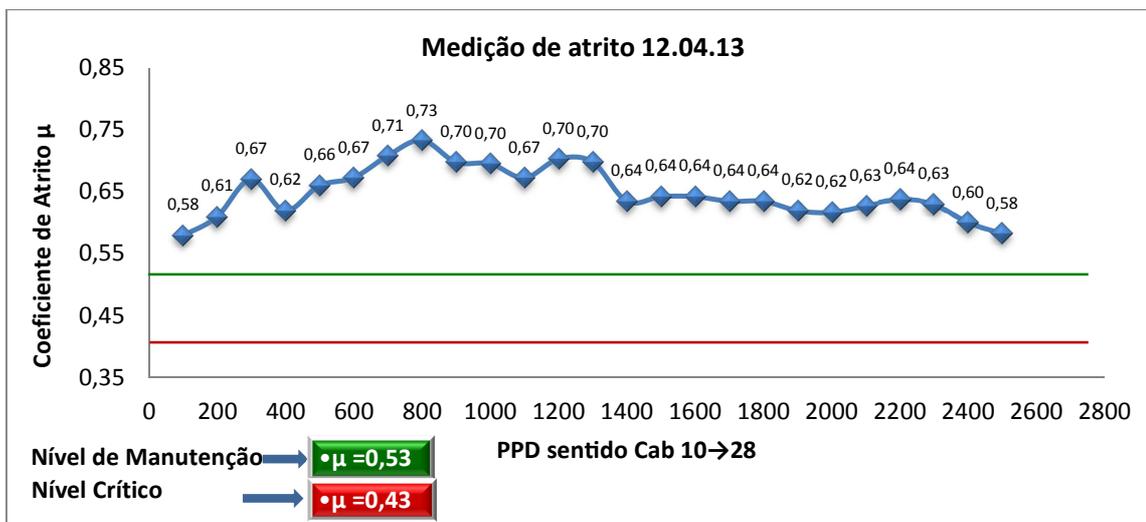


Figura 63- Perfil longitudinal dos índices de atrito, mês de abril/2013.

Fonte: INFRAERO.

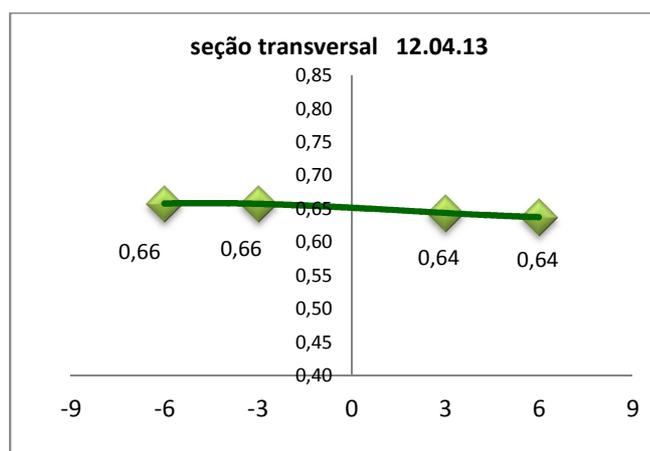


Figura 64 - Perfil transversal dos índices de atrito, mês de abril/2013.

Fonte: INFRAERO.

No mês de julho (Figura 65) tem-se uma pequena variação no primeiro terço da PPD. Os valores chegaram a índices abaixo do nível de manutenção e nos primeiros 500 metros, o coeficiente médio indicou $\mu=0,51$. E nos 700 metros em diante o atrito apresentou melhorias no prolongamento restante da PPD variando seus índices no intervalo entre 0,61 e 0,69. Em relação ao perfil transversal (Figura 66), o lado esquerdo, na faixa dos três a seis metros, exibiu valores semelhantes, ao passo que no lado direito houve uma variação substancial nos três metros em relação aos demais. Essa discrepância deve-se a uma maior quantidade de baixos valores do atrito ao longo da PPD. Na faixa dos 400 aos 700 metros (lado direito) o atrito variou de 0,44 a 0,46, que por sua vez pode estar associada a grande quantidade de operações de aeronaves de menor

porte com destino ao festival de Parintins (município amazonense distante 369 km da capital). Outra possibilidade a ser considerada, deve-se a ação dos ventos que atingem a aeronave pelas laterais, fazendo com que o trem de pouso do lado direito toque primeiro o solo. Apesar de, em geral, ter-se a predominância na PPD de ventos de proa (atingem a frente da aeronave), é importante considerar tal fator.

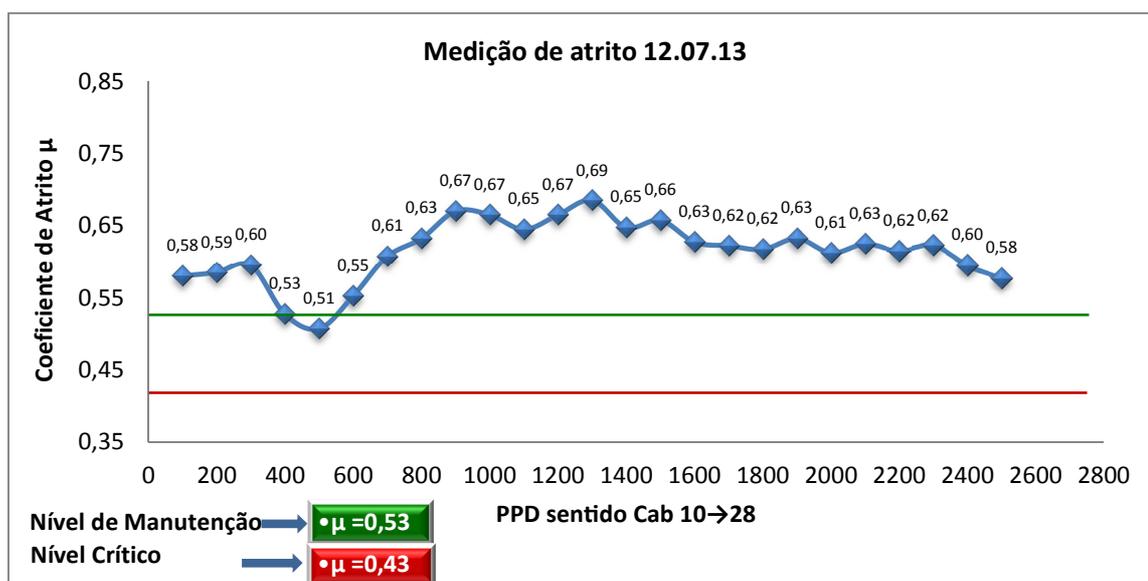


Figura 65- Perfil longitudinal dos índices de atrito, mês de julho/2013.
 Fonte: INFRAERO.

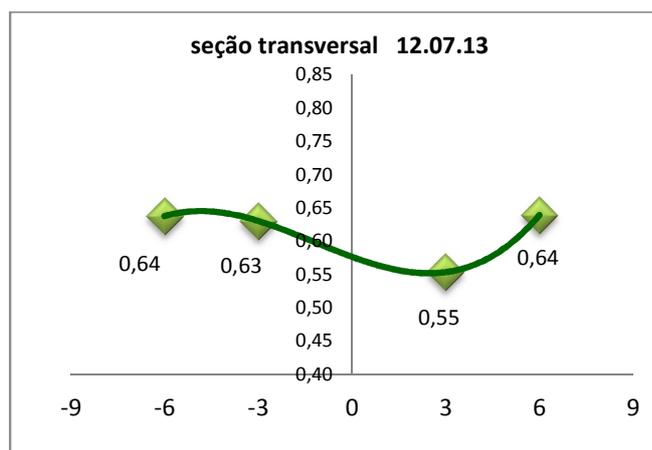


Figura 66- Perfil transversal dos índices de atrito, o mês de julho/2013.
 Fonte: INFRAERO.

Para os ensaios realizados do mês de outubro, houve uma grande variação nos índices de atrito. No primeiro terço, os valores foram os maiores registrados na PPD. No lado direito e na

faixa dos 200 metros o atrito alterou entre 0,82 a 0,83, o que contribuiu para o maior dado médio no início da cabeceira 10. Considerando a Figura 67 constata-se a variação IMA ao longo da PPD. Na faixa dos 200, 800 e 1.200 metros registraram-se os maiores valores médios de atrito 0,77, 0,72 e 0,74, respectivamente. Em seguida aos 1.200 metros os valores apresentaram decréscimos, todavia não chegaram ao nível de manutenção. O perfil transversal (Figura 68) ressalta certa homogeneidade. Porém, no lado esquerdo e na faixa dos seis metros o atrito expôs o mais baixo nível, apesar de todos os valores estarem em um nível seguro não supervisionado.

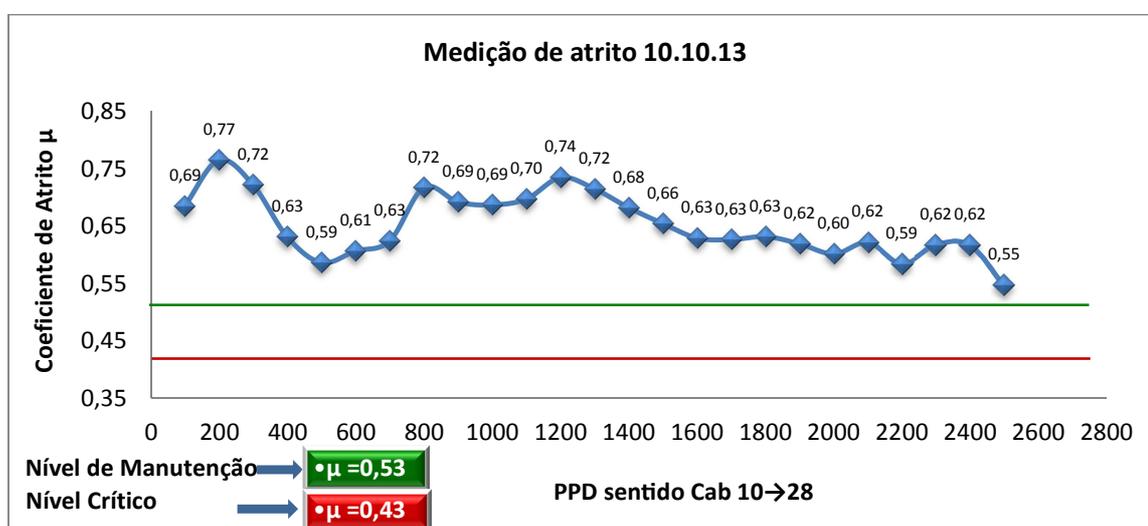


Figura 67- Perfil longitudinal dos índices de atrito, mês de abril/2013.
Fonte: INFRAERO.

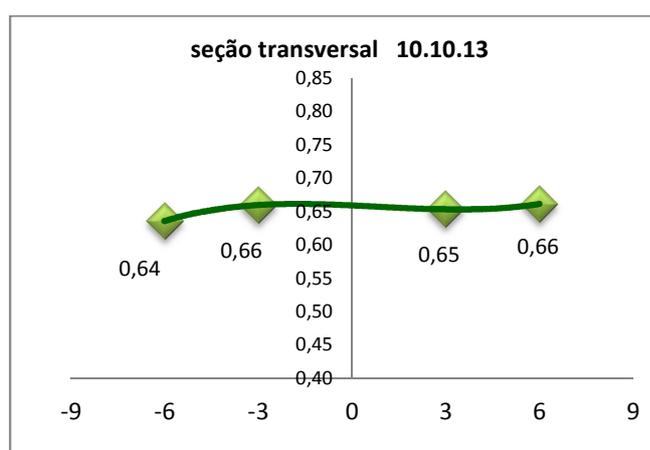


Figura 68- Perfil transversal dos índices de atrito, mês de julho/2013.
Fonte: INFRAERO.

4.3.3 Ano de 2014

No ensaio realizado no mês de janeiro os valores de atrito mostraram-se os mais altos já computados desde o ano de 2012. O coeficiente médio mais baixo localizou-se na faixa dos 100 metros ($\mu=0,68$) e os mais altos entre 2.100 a 2.200 metros, atingindo $\mu=1,00$ (Figura 69). O perfil longitudinal apresentou um comportamento bem sinuoso, porém bem acima do nível de segurança, ou seja, 88% dos coeficientes médios ficaram no nível de um pavimento novo. Segundo o perfil transversal (Figura 70), verificam-se valores constantes no lado direito e baixa variação para o lado esquerdo. Contudo, na faixa dos seis metros do lado direito, o atrito apresentou IMA $\mu=0,90$, ou seja, um crescimento substancial. Atribui-se tal resultado a presença de alguns valores pontuais acima da média. Tal como na faixa dos três metros (lado esquerdo) e 2.000 metros, tendo o equipamento medido $\mu=1,12$.

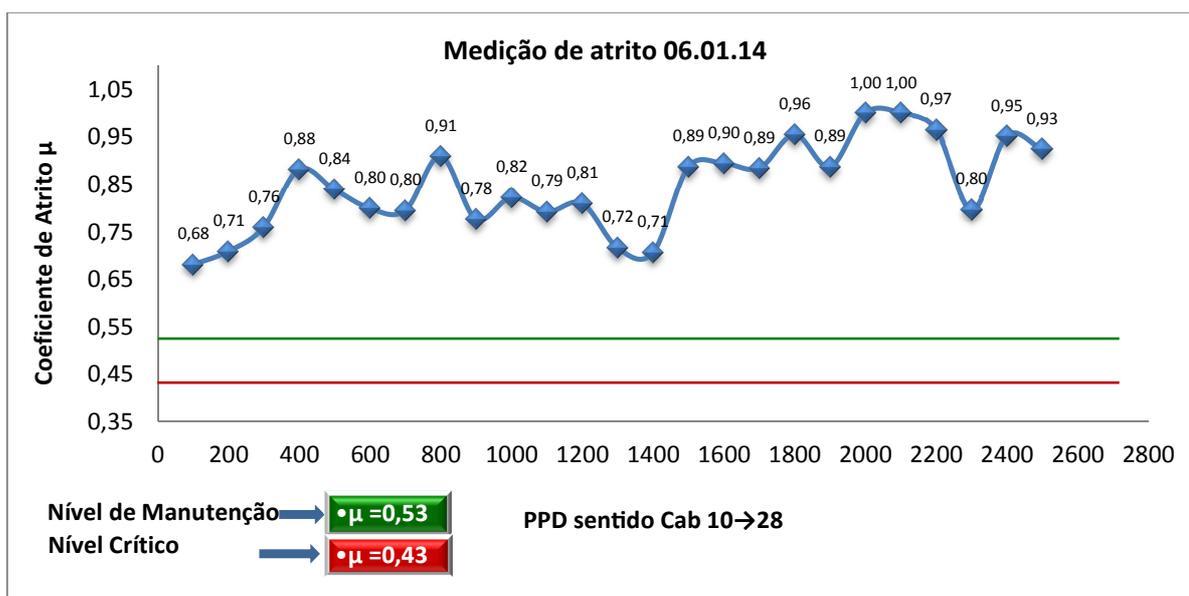


Figura 69 - Perfil longitudinal dos índices de atrito, mês de janeiro/2014.

Fonte: INFRAERO.

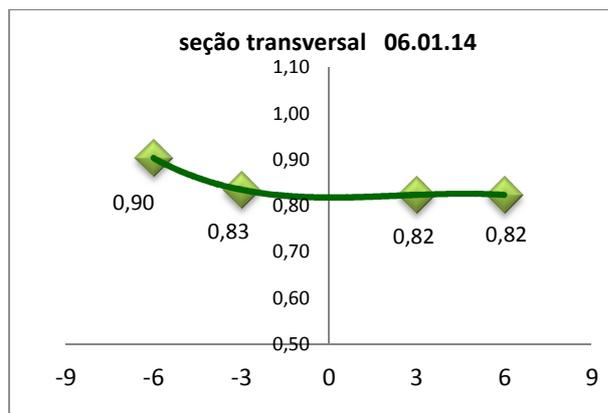


Figura 70- Perfil transversal dos índices de atrito, mês de janeiro/2014.
Fonte: INFRAERO.

Para o estudo realizado no mês de abril, tem-se uma vertiginosa queda nos índices de atrito, principalmente nos intervalos dos três metros, no qual valores pontuais chegaram a 0,43, quase no nível de pista insegura. Observando a Figura 71, verificam-se os IMA com uma constância de valores, porem sempre margeando o nível de manutenção, cerca de 40% dos dados posicionaram-se entre o nível crítico e o nível de manutenção. Relaciona-se esse decréscimo com a deficiência apresentada pelo equipamento de desemborrachamento que precisou de manutenção para prosseguir na limpeza da pista. No perfil transversal (Figura 72), nota-se no intervalo dos três metros valores de atrito mais baixos respeitantes aos dos seis metros. Essa situação justifica-se pelos baixos índices pontuais indicados na referida faixa, em torno de 40% tais índices exibiram atrito no intervalo entre 0,42 e 0,51.

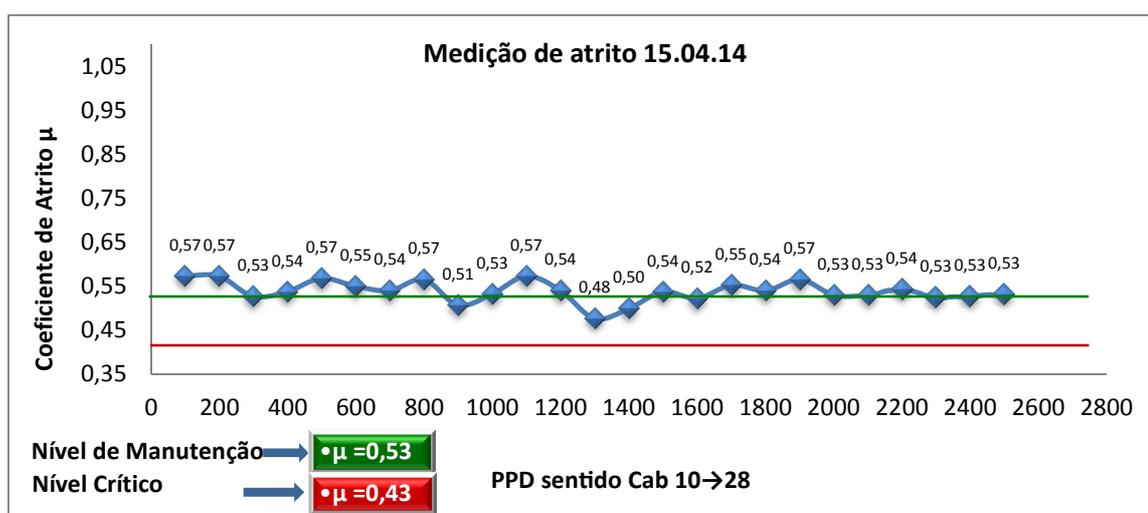


Figura 71- Perfil longitudinal dos índices de atrito, mês de abril/2014.
Fonte: INFRAERO.

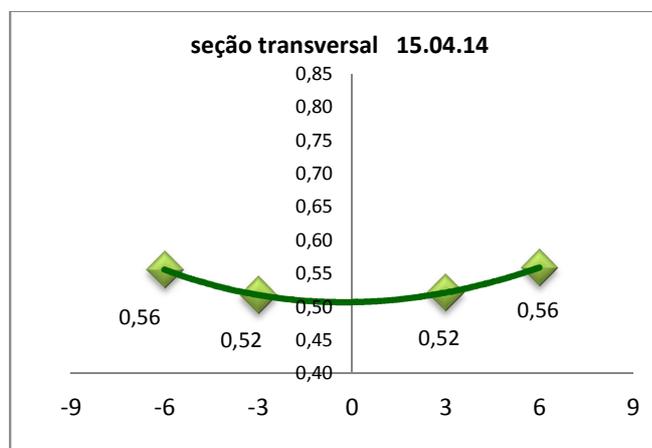


Figura 72- Perfil transversal dos índices de atrito, mês de abril/2014.
Fonte: INFRAERO.

Referente ao ensaio do mês de julho (Figura 73), os IMA exibiram considerada melhoria. Todavia, nos 400 e 500 metros os valores foram bem abaixo dos demais, apresentando $\mu = 0,49$ e $0,51$, respectivamente, baixando para nível de manutenção. Tem-se igualmente, uma linha pouco sinuosa no início dos 800 metros com μ variando entre $0,66$ a $0,70$. Analisando o perfil transversal (Figura 74), ressalta-se uma variação bem distinta. Em particular na faixa dos três metros (lado direito), nota-se um baixo valor no IMA. Este decréscimo emana dos coeficientes pontuais abaixo do nível de manutenção, caso da faixa de 400 a 600 metros com tal parâmetro expondo valores abaixo de $0,51$ (Figura 34).

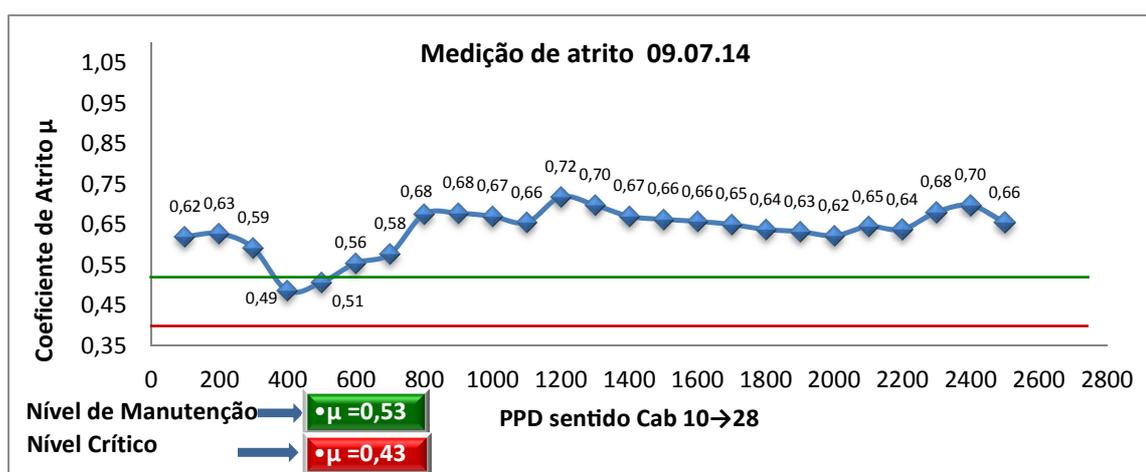


Figura 73- Perfil longitudinal dos índices de atrito, mês de julho/2014.
Fonte: INFRAERO

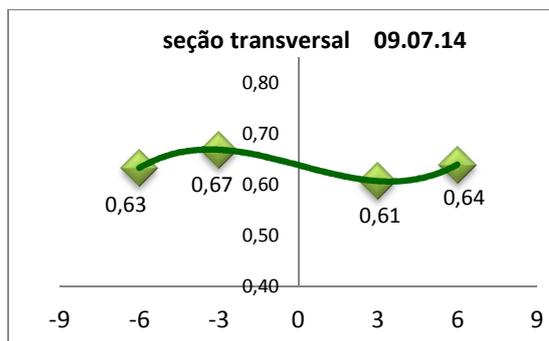


Figura 74- Perfil transversal dos índices de atrito, mês de abril/2014.
Fonte: INFRAERO.

4.3.4 Resumo 2012-2014

Inserindo-se todos os ensaios executados em um ano e no mesmo gráfico (Figura 75), observa-se uma considerável melhoria nos índices de atrito no terceiro terço da PPD (cabeceira 28) no ano de 2012. Acredita-se que tal resultado provém dos serviços de remoção de borracha, oriunda dos resíduos gerados pelos trens de aterrissagem que se depositam nos espaços entre os agregados, acarretando uma textura mais fechada (pavimento do tipo III), tendo evoluído para o tipo I. Ressalta-se, ainda, uma elevação nos índices no mês de outubro e uma razoável melhoria na cabeceira 10. Na faixa dos 300 metros até próximo dos 800 metros houve recomposição de capa asfáltica. Contudo, o aumento do atrito não foi considerável, uma vez que pavimentos novos apresentam características de pavimento tipo III, isto é, com fechada macrotextura e alta microtextura, melhorando assim o atrito por adesão quando em pista seca.

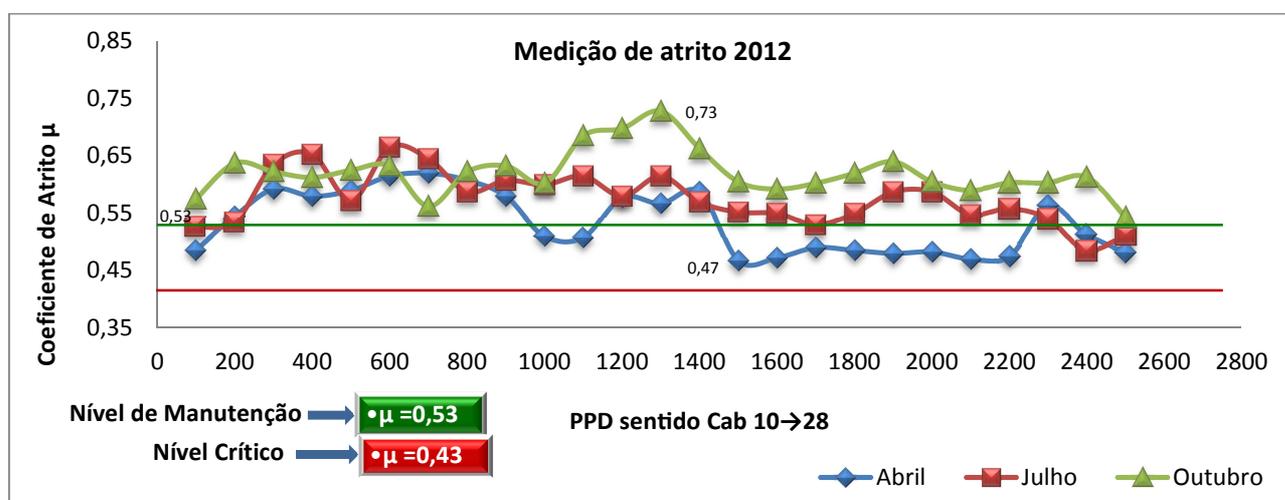


Figura 75 - Perfil longitudinal consolidado, índices de atrito dos meses de abril, julho e outubro/2012.
Fonte: INFRAERO

Analisando todos os ensaios de 2013 (Figura 76) nota-se, particularmente, no primeiro terço, uma distinta variação no comportamento dos perfis. Na cabeceira 10, os meses de abril e julho mostraram μ abaixo de 0,53, ao passo que, o mês de outubro proporcionou elevado níveis médios de atrito. Estes se destacaram dos demais, gerados pelos serviços realizados em agosto no revestimento asfáltico. A intervenção iniciou nos 100 metros das cabeceiras 10 e 28, possuindo dimensão de 165x14 metros e 200x23 metros, respectivamente. Igualmente no primeiro terço, os dados coletados mostraram-se acima dos demais. É importante destacar que os serviços de desemborrachamento contribuem para a melhoria do atrito.

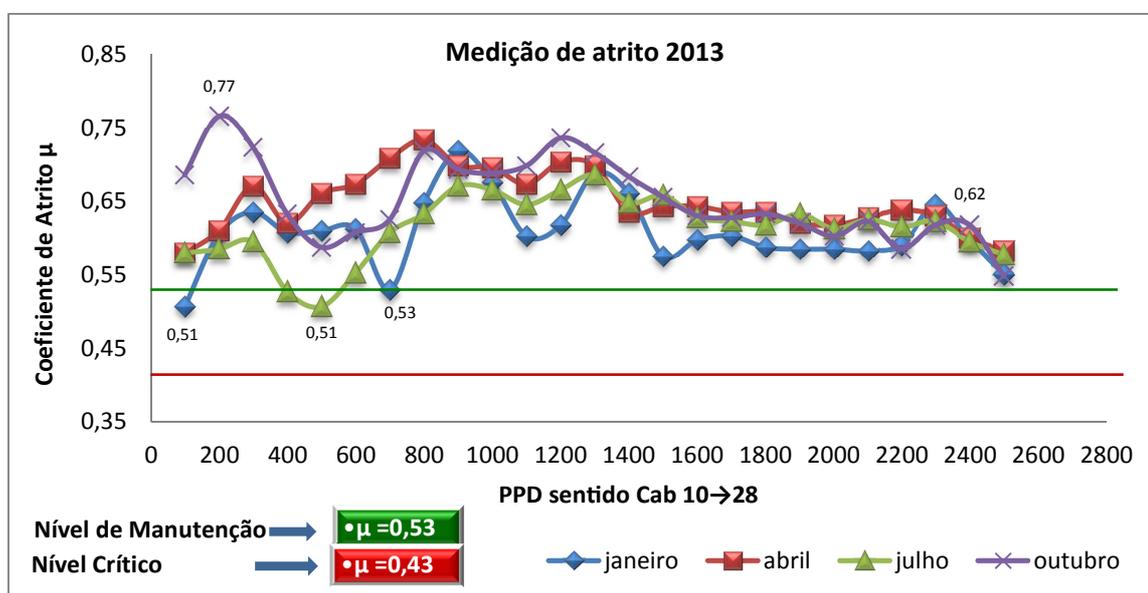


Figura 76- Perfil longitudinal consolidado, índices de atrito dos meses de janeiro, abril, julho e outubro/2013. Fonte: INFRAERO

No gráfico consolidado para o ano de 2014 (Figura 77), constata-se a distinta *performance* entre os perfis longitudinais. Enquanto o mês de janeiro mostrou altos IMA, o mês de abril indicou os menores, com grande parte dos valores no limite do nível de manutenção. O fato do perfil de janeiro apontar dados elevados reflete a recuperação do revestimento betuminoso concretizado no ano anterior, visto que no perfil de outubro de 2013 obteve o mesmo desempenho.

Nos meses subsequentes houve uma queda substancial, principalmente no mês de abril, chegando a níveis preocupantes. Atribui-se esse resultado ao alto grau de emborrachamento, causado pela grande quantidade de operações de pouso e decolagem, esta estimulada pela

temporada de férias. Entretanto, o mês de julho já indicou uma considerável melhoria em seus IMA, pela retirada dos resíduos de borracha contribuindo significativamente para o resultado final.

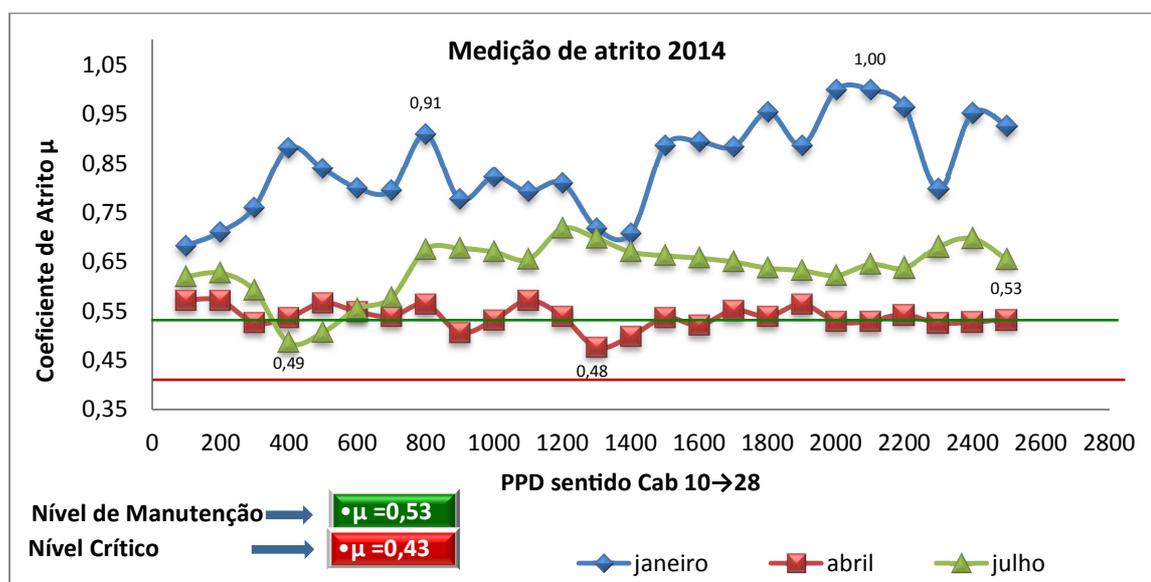


Figura 77- Perfil longitudinal consolidado, índices de atrito dos meses de janeiro, abril e julho /2014.
Fonte: INFRAERO

4.4 Linha Temporal

Examinou-se a evolução dos níveis de atrito de SBEG com o tempo. Tomando-se um único coeficiente (média) por ensaio, e com base nesses valores traçou-se uma linha temporal (Figura 39). Considerando os valores a partir do ensaio de outubro de 2012, nota-se uma constância da ordem de $\mu = 0,60$ para os demais ensaios, mesmo considerando as discrepâncias dos ensaios de janeiro de 2014 (o mais alto) e abril de 2014 (o mais baixo). A linha de tendência presente no citado gráfico indica uma convergência de crescimento dos próximos coeficientes. Assim, ações de manutenção e acompanhamento do pavimento devem ser mais incisivas para manter os índices acima da média. Analisando tais parâmetros pontualmente, obteve-se o mais alto valor $\mu = 1,12$. Ao se verificar os Índices Médios de Atrito (IMA), usados para traçar o perfil longitudinal, destaca-se o valor $\mu = 1,00$ e a linha temporal indicando $\mu = 0,85$. Lembra-se ainda que todos os altos coeficientes alcançados partiram dos resultados coletados em janeiro de 2012.

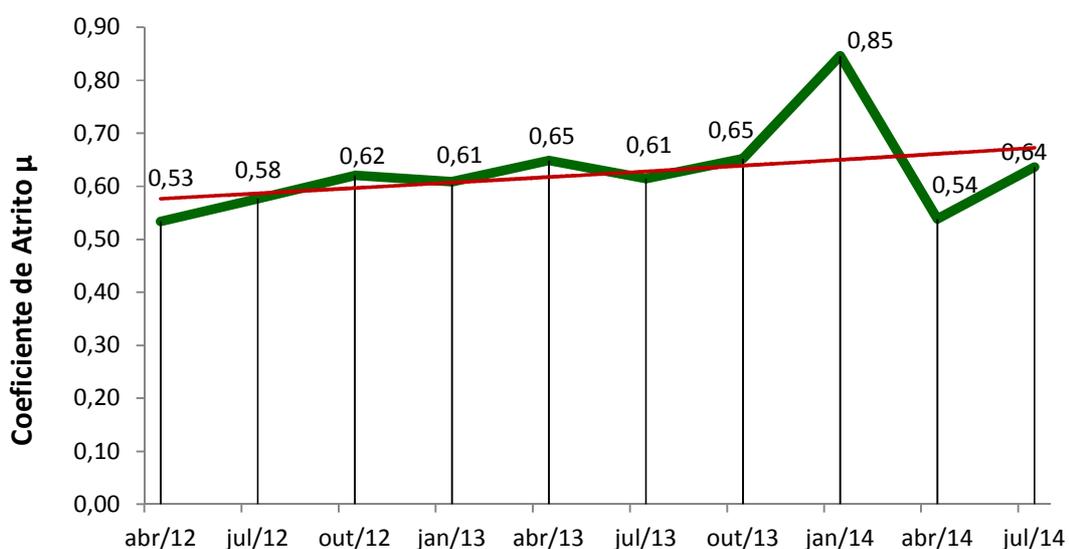


Figura 78- Linha temporal evolutiva no período 2012-2014
Fonte: INFRAERO

5 Conclusão

Pelo exposto, conclui-se que:

1) Ensaio de macrotextura.

- 1.1) 2012 – Foram observados baixos valores no primeiro terço da PPD (sentido cabeceira 10/28), os quais se elevaram a partir do segundo terço e permaneceram com os mesmos índices até o final da pista. Os resultados iniciais decorreram do acúmulo de borracha, porquanto é no primeiro terço que se encontra a cabeceira 10, local de maior predominância (cerca de 98%) das operações de pouso e decolagem. Contudo, mesmo com esse déficit no primeiro terço, os citados valores mostraram-se satisfatórios, uma vez que se mantiveram acima do tolerado ($m=0,60\text{mm}$).
- 1.2) 2013 – Foi encontrado, em geral, comportamento semelhante aos resultados relativos ao ano de 2012. Verificaram-se apenas dois pontos com índices abaixo do permitido, o que é justificado pela presença de uma nova camada asfáltica com macrotextura bem fechada. Tal condição leva a uma mancha de areia com diâmetro maior comparado ao revestimento antigo, uma vez que os vazios, os quais deveriam ser preenchidos pela areia, estão ocupados pelos participantes do compósito asfáltico.
- 1.3) 2014 – Não diferente do ano anterior, os resultados indicaram o mesmo desempenho quanto ao decréscimo na cabeceira 10 e à elevação da macrotextura a partir do segundo terço. Ressalta-se que no mês de janeiro o primeiro terço da pista apresentou melhores índices. Esse comportamento, assim como o que foi encontrado no ano de 2012, deve-se a presença de um revestimento recém-construído.

2) Ensaio de medição de atrito

- 2.1) 2012 – Distintos comportamentos foram apresentados: em abril e outubro obteve-se, respectivamente, os menores e maiores valores dos índices médios de atrito (IMA). Notou-se que o “desemborrachamento” provocou uma melhora dos níveis de atrito para o mês de julho, os quais evoluíram da condição segura supervisionada (manutenção) para segura não supervisionada. Em relação ao mês de outubro tais números foram maiores, como consequência da retirada dos resíduos de borracha e da recomposição da capa asfáltica, realizada no mês de agosto nas cabeceiras 10 e 28.

- 2.2) 2013 – Os resultados obtidos no primeiro terço da pista exibiram um comportamento diferente, enquanto que os demais trechos mostraram valores semelhantes, praticamente na mesma faixa de atrito. Nos meses de outubro e abril foram alcançados os maiores IMA. No geral, a maioria dos valores obtidos esteve acima de $\mu = 0,53$, o que caracterizou uma condição segura não supervisionada, e apenas quatro índices se posicionaram na situação segura supervisionada.
- 2.3) 2014 – Observaram-se baixos índices no mês de abril e altos valores no mês de janeiro. Tais resultados constituem os maiores no período entre abril de 2012 e julho de 2014. O primeiro ensaio de 2014, o qual indicou altos IMA, refletiu os serviços de recomposição de capa asfáltica e remoção de borracha realizados no final do ano de 2013. No caso do mês de abril, os índices baixos e a consequente condição de manutenção foram ocasionados pela presença de grande quantidade de borracha devido à quebra do equipamento “desemborrachador”.
- 3) Os dados operacionais de movimentação de aeronaves permitiram a confirmação de que a frequência de ensaios no aeródromo da SBEG mostra-se de acordo com o preconizado na resolução N°236 da ANAC.
- 4) A análise dos resultados de ensaios de macrotextura e atrito revelam que, em um primeiro momento, se a macrotextura apresentar um bom nível, o valor do atrito também terá desempenho semelhante. Porém, tal assertiva, merece ser verificada, pois no ensaio de out/2013 os dados de macrotextura, na faixa dos 200 metros, apresentaram valores de 0,59mm e índice de atrito $\mu = 0,77$, o que representa uma textura fechada e um elevado atrito; além disso, no experimento de abr/2012, na faixa dos 1.500 metros, obteve-se atrito $\mu = 0,47$ e macrotextura de 1,97mm. Tais valores indicam baixo coeficiente de atrito associado à macrotextura alta. Portanto, ressalta-se que o ensaio da mancha de areia indica a capacidade de drenabilidade do pavimento, enquanto o de Griptester analisa a microtextura. Dessa forma, podem-se obter áreas com alta macrotextura e baixo atrito (pavimento tipo II) ou com alto atrito e baixa macrotextura (pavimento tipo III).
- 5) A linha temporal indicou uma crescente evolução nos níveis de atrito, além de identificar o melhor resultado alcançado no aeródromo da SBEG. Contudo, é importante mencionar que existem diversos fatores que contribuíram para tal avanço, como: monitoramento constante da PPD; equipamentos novos e mais precisos de medição do atrito; intervenções de engenharia,

visto que há mais de dez anos o pavimento não recebia ações de melhora; além de equipes treinadas e capacitadas na manutenção do pavimento.

- 6) Quando um pavimento submete-se a muitas operações de pouso e decolagem, tem-se como consequência o depósito de resíduos entre os vazios do revestimento asfáltico. Esses detritos são geralmente resquícios de borracha desprendidos durante a frenagem da aeronave, e conferem uma textura mais densa ao asfalto. Para retomar a macrotextura inicial faz-se necessário o uso de um equipamento “desemborrachador”, que por meio de jatos de água a grande pressão, retira esses materiais e melhora a drenabilidade do revestimento. Por outro lado, um número elevado dessas operações pode provocar polimento dos agregados e reduzir o atrito por adesão. Neste caso, a solução empregada é, na maioria dos casos, a recomposição da camada que apresenta características de desgaste e baixo atrito.

Referências Bibliográficas

- 1) ANAC - AGENCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Estabelece requisitos de aderência para pistas de pouso e decolagem. Resolução nº 236 de 5 de junho de 2012. Diário Oficial da União, p. 6, 12 de junho de 2012.
- 2) ANAC - AGENCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil – RBAC N.º154 – Projeto de Aeródromos, Brasília, 2009.
- 3) AGENCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Estabelece requisitos de aderência para pistas de pouso e decolagem. Resolução nº 236 de 5 de junho de 2012. Diário Oficial da União, p. 6, 12 de junho de 2012.
- 4) APS, M. Classificação da Aderência Pneu-pavimento pelo Índice Combinado IFI – Internacional Friction Index para revestimentos asfálticos. 2006 179 p. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- 5) AIRPORT INTERNATIONAL. Disponível em: <<http://www.airport-int.com/article/mu-meter-mk6-runway-friction-measuring-machines.html>>. Acesso em 12 de dezembro de 2013.
- 6) ASFT - Airport Surface Friction Tester. Disponível em:<http://www.asft.se/aviation/t10Trailer_rear.shtml>. Acesso em: 05 de janeiro de 2014.
- 7) ASTM E1845 – Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth,2009.
- 8) ASTM E303 – Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester, 2013.
- 9) ASTM E1911 – Standard Test Method for Measuring Paved Surface Frictional Properties Using the Dynamic Friction Tester, 2009.
- 10) ASTM E670 – Standard Test Method for Side Force Friction on Paved Surfaces Using the Mu-Meter, 2009.
- 11) BIELSCHOWSKY, P. et al. A Evolução do Setor de Transporte Aéreo Brasileiro. Revista Eletrônica Novo Enfoque, v. 13, n. 13, p. 72 – 93, 2011.
- 12) BITA – Boletim de Indicadores de Transportes Aéreos. Disponível em: <<http://www.tgl.ufrrj.br>> Acesso em 22 de fevereiro de 2014.
- 13) CALLAI, S.C. Estudo do Ruído Causado pelo Tráfego de Veículos em Rodovias com Diferentes Tipos de Revestimento de Pavimentos. 89 p. Mestrado (Mestrado em Engenharia de Transportes) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

14) CEREMA - Centre for Expertise and Engineering on Risks, Urban and Country Planning, Environment and Mobility -. Disponível em: <<http://www.cete-ouest.developpement-durable.gouv.fr/spip.php?page=sommaire>>. Acesso em 11 de março de 2014.

15) CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Atlas Pluviométrico do Brasil - Período de 1977 a 2006. Disponível em:<<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi>> Acesso em: 10 de março de 2014.

16) DIRENG (2002). Especificações Gerais para Obras de Infra-estrutura Aeroportuária. Diretoria de Engenharia da Aeronáutica.

17) DUARTE, J.P.S. Avaliação do Coeficiente de Atrito em Aeroportos Portugueses: O caso do aeroporto de Lisboa. 125 p. Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.

18) DYNATEST. Disponível em: <<http://www.dynatest.com.br/produto.asp>>. Acesso em: 15 de novembro 2013.

19) DZETA FLUGHAFEN SERVICES LTDA. Disponível em: <http://www.dzeta.com.br/aeroportuarios/Dzeta_Brochure_120403_Web.pdf>. Acesso em: 05 de janeiro de 2014.

20) EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA – INFRAERO. Curso de Manutenção de Pavimentos. Brasília, 2011.

21) EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA – INFRAERO. Curso de Engenharia Aeroportuária. Recife, 2010.

22) EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA – INFRAERO. Manual de Procedimentos Operacionais e Executivos para Medição de Atrito, de Macrotextura e Remoção de Borracha nas Pistas de Pouso e Decolagem dos Aeroportos. Brasília, 2013.

23) EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA – INFRAERO. Disponível em: <<http://www.infraero.gov.br/index.php/br/aeroportos/amazonas/aeroporto-internacional-eduardo-gomes.html>> Acesso em: 05 de agosto de 2012.

24) FROTA, C. A. *et al.* Levantamento visual das patologias na cidade de Manaus-Am. *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, n. 19, p. 77-87, maio, 2012.

- 25) GONZAGA, M. F. A *et al.* Segurança em Pistas de Pousos de Aeroportos Brasileiros. CONINFRA 2010, São Paulo, 2010.
- 26) GRIPTESTER – Manual de Pré-Operação. São Paulo, 2011.
- 27) HALLIDAY, RESNICK, WALKER, Fundamentos da Física, Vol. 1 – Mecânica, 7. Ed. Editora Livros Técnicos e Científicos, 2006.
- 28) GUNNAR, A. History of friction measurements at airports. Estocolmo, 20 de janeiro de 1997. Disponível em: <<http://www.airport-int.com/article/history-of-friction-measurements-at-...1>>. Acesso em: 22 de janeiro de 2014.
- 29) HOTTA, M.M. O Gerenciamento de Riscos em Projetos de Obras Aeroportuárias: Estudo de Caso do Projeto da Obra de Recuperação da Pista de Pouso do Aeroporto Internacional de Rio Branco. 105 p. Pós-Graduação (Pós-Graduação em Gerenciamento de Projetos) Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2012.
- 30) INTERNATIONAL CIVIL ASSOCIATION – ICAO. Runway Surface Condition Assessment, Measurement and Reporting, 2011. Disponível em: <<http://www.icao.int/safety/RunwaySafety/Documents>>. Acesso em: 10 de novembro de 2013.
- 31) INTERNATIONAL CIVIL ASSOCIATION – ICAO. Airport Service Manual. Pavement Surface Conditions part 2, 2002. Disponível em: <<http://www.icao.int/safety/RunwaySafety/Documents>>. Acesso em: 22 de outubro de 2013.
- 32) INDEPENDENCE CONSTRUCTION MATERIALS. Disponível em: <<http://www.independenceconstructionmaterials.com/asphalt/2013>>. Acesso em: 02 de março de 2014.
- 33) INFRAERO. Projetos de Terminais – Fluxo de Passageiros. Brasília, 2013. 30 slides. Color.
- 34) INSITU ASPHALT, TRH8 - Design and Use of Hot-Mix Asphalt in Pavements. Disponível em: <<http://insitu-asphalt.com/wp-content/uploads/2009/07/TRH8.pdf>>. Acesso em: 13 de dezembro de 2013.
- 35) ISO 13473 - Characterization of pavement texture by use of surface profiles - Part 5: Determination of megatexture, 2009.
- 36) IZOVOLTAS. Disponível em: <http://www.izovoltas.com/EN/apie_mus/>. Acesso em: 03 de novembro de 2013.

- 37) LUGÃO, W.G. Análise da Aderência entre Pneu e Pavimento com Camada Porosa de Atrito no Aeroporto Internacional Tancredo Neves. 148 p. Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- 38) MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. Pavimentação, 2012. 201 f. Notas de Aula. Disponível em: < <http://www.ufjf.br/pavimentacao/> >. Acesso em: 22 de janeiro de 2013.
- 39) MATTOS, J.R.G. Avaliação da Aderência Pneu pavimento e tendência de desempenho para rodovia BR-290 RS. 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- 40) MOSSMANN, V. L. F. *et al.* Determinação dos Coeficientes de Atrito Estático e Cinético Utilizando-se a Aquisição Automática de Dados. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 24, n. 2, p. 146-149, junho, 2002.
- 41) NECKEL, G. Estudo Do Asfalto-Borracha como Revestimento Asfáltico em Pistas Aeroportuárias. 179 p. Graduação (Bacharel em Engenharia Civil) Universidade do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina, 2008.
- 42) OLIVEIRA F H L. Proposição de Estratégias de Manutenção de Pavimentos Aeroportuários Baseadas na Macrot textura e no Atrito: Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza. 178 p. Mestrado (Mestrado em Engenharia de Transportes) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
- 43) OLIVEIRA, C.G.M. Estudo de propriedades mecânicas e hidráulicas do Concreto Asfáltico Drenante. 87 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Universidade de Brasília, Brasília, 2003.
- 44) PENNSYLVANIA TRANSPORTATION INSTITUTE. Disponível em: <<http://www.pti.psu.edu/allFacilities>>. Acesso em: 03 de outubro de 2013.
- 45) RAMALHO, R.C.L. Diretrizes para avaliação funcional de pavimentos aeronáuticos. 617 p. Doutorado (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade do Porto, Porto, 2012.
- 46) RAMOS, K. O. Estudo sobre Mistura Asfáltica tipo Stone Matrix Asphalt (SMA) para Pavimento Aeroportuário. 198 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2012.
- 47) RODRIGUES FILHO, O.S. Característica de Aderência de Revestimentos Asfálticos Aeroportuários – Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de São Paulo/Congonhas. 153 p.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

48) SANTOS, E.L. Análise Histórica de Medição de Atrito das Pistas do Aeroporto Santos Dumont – RJ. 124 p. Graduação (Graduação em Engenharia Civil) Instituto de Tecnologia da Aeronáutica – ITA , São José dos Campos, 2004.

49) SHOENBERGER, J. Rejuvenators, Rejuvenator/Sealers, and Seal Coats for Airfield Pavements. Us Army Corps of Engineers, 2003.

50) SILVA, J.P.S. Aderência Pneu-Pavimento em Revestimentos Asfálticos Aeroportuário. 153 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

51) SILVA, P. B. Estudo em Laboratório e em Campo de Misturas Asfálticas SMA. 132 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

52) TECHNICAL RECOMMENDATIONS FOR HIGHWAYS. Design and Use of Hot-Mix Asphalt in Pavements. TRH8, Pretoria, Africa do Sul, 1987

53) THE LITTLE BOOK OF TIRE PAVEMENT FRICTION. Disponível em: <https://secure.hosting.vt.edu/www.apps.vtti.vt.edu/1pagers/CSTI_Flintsch/The%20Little%20Book%20of%20Tire%20Pavement%20Friction.pdf> Acesso em: 09 de outubro de 2013.

54) TRANSPORT CANADÁ. Disponível em: <<http://data.tc.gc.ca/archive/eng/innovation/tdc-summary-14000-14061e-717.htm>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2014.

55) TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Guide for Pavement Friction. NCHRP Document 108, Washington, D.C, 2009.

56) TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Guide for Pavement Friction. NCHRP Synthesis Report 291, Washington, D.C, 2000.

57) XIAO, Y. Towards A Performance Evaluation Method for Durable And Sustainable Thin Surfacing. 247 p. Master of Science (Materials Science and Engineering) Wuhan University of Technology, China, 2013.

