

***INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA***



Edimar de Lima dos Santos

Análise Histórica de Medição de Atrito das Pistas do  
Aeroporto Santos Dumont - RJ

*Trabalho de Graduação*  
*Ano 2004*

***Infra-Estrutura***

Edimar de Lima dos Santos

**Análise Histórica de Medição de Atrito das  
Pistas do Aeroporto Santos Dumont - RJ**

Orientador

1º Ten. Eng. Ronaldo Gonçalves de Carvalho (ITA)

Co-orientador

1º Ten. Eng. Arnaldo Satoru Gunzi (DIRENG)

**Divisão de Infra-Estrutura Aeronáutica**

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)****Divisão Biblioteca Central do ITA/CTA**

Santos, Edimar de Lima dos.

Análise Histórica de Atrito de Medição das Pistas do Aeroporto Santos Dumont – RJ /

Edimar de Lima dos Santos

São José dos Campos, 2004.

123 f.

Trabalho de Graduação – Divisão de Infra-Estrutura Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2004. Orientador: 1º Ten Eng Ronaldo Gonçalves de Carvalho

1. Medição de atrito. 2. Pistas (de pouso e decolagem). 3. Aeroportos. I. Centro Técnico Aeroespacial. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Infra-Estrutura Aeronáutica. II. Título

**REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

SANTOS, Edimar de Lima dos. **Análise Histórica de Medição de Atrito das Pistas do Aeroporto Santos Dumont - RJ**. 2004. 123 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

**CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DO AUTOR: Edimar de Lima dos Santos

TÍTULO DO TRABALHO: Análise Histórica de Medição de Atrito das Pistas do Aeroporto Santos Dumont - RJ

TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2004

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

*Edimar de Lima dos Santos*

Edimar de Lima dos Santos

Av. Cesário de Melo, 1269, Campo Grande

CEP 23.085-110

Rio de Janeiro – RJ

**ANÁLISE HISTÓRICA DE MEDIÇÃO DE ATRITO DAS PISTAS DO AEROPORTO  
SANTOS DUMONT - RJ**

Esta publicação foi aceita como relatório final de Trabalho de Graduação.

*Edimar de Lima dos Santos*

---

Edimar de Lima dos Santos

Autor

*Ronaldo Gonçalves de Carvalho*

---

1º Ten. Eng. Ronaldo Gonçalves de Carvalho

Orientador

*Arnaldo Satoru Gunzi*

---

1º Ten. Eng. Arnaldo Satoru Gunzi

Co-orientador

*Eliseu Lucena Neto*

---

Prof. Dr. Eliseu Lucena Neto

Coordenador do Curso de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica

São José dos Campos, 22 de Novembro de 2004

**DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais pela força que sempre me deram, e à Monique, minha namorada, pela paciência e pelo apoio que sempre me deu durante todos esses anos de estudo.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente à Deus, porque sem ele nada disso seria possível.

Ao meu orientador, 1º Ten Ronaldo, pela paciência, compreensão e ajuda em todos os momentos da realização deste trabalho.

Ao meu co-orientador, 1º Ten Satoru, pelo apoio dado.

E aos meus amigos, que compartilharam comigo esses árduos anos de estudo, mas também de muitos momentos alegres.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo tecer comentários e fazer uma análise do atrito da pista do Aeroporto Santos Dumont, tendo em vista a relevância do assunto para o aeroporto.

Para tal, são abordados tópicos importantes e necessários para uma melhor compreensão dos fenômenos que envolvem esse tema.

São apresentados conceitos relativos ao atrito em pavimentos aeroportuários, tais como os conceitos de hidroplanagem e de que forma eles ocorrem, a influência que o tipo de textura da superfície do pavimento pode exercer sobre o coeficiente de atrito, e algumas recomendações da FAA e da ICAO sobre a frequência de medição de atrito e de remoção de borracha do pavimento.

São apresentados também os métodos mais usuais existentes de medição de atrito, aprofundando-se no equipamento utilizado pela DIRENG para realizar essas medições, o Mu-meter.

Como no revestimento superficial das pistas do Santos Dumont é usado a Camada Porosa de Atrito, esta também é apresentada mostrando-se conceitos importantes e explicando os detalhes que devem ser observados quando de sua execução e sua manutenção.

Por fim, é feita uma análise histórica dos resultados de medições realizadas pela DIRENG entre 1997 e 2003 na pista do Aeroporto Santos Dumont.

## ABSTRACT

This work has the objective to comment and to analyse the Santos Dumont Airport's runway friction, knowing the relevance of the subject to this airport.

For this, important and necessary topics are approached for a better understanding of the phenomena that involves this theme.

Concepts of the friction in airport pavements are presented, such as the hydroplaning concepts and how it happens, the influence that the kind of pavement surface texture can do on the friction coefficient, and some recommendations from FAA and ICAO about the frequency of friction mensuration and about removal of rubber from pavement.

The most usual existent methods of friction mensuration are also presented, being deepened in the equipment used by DIRENG to accomplish those mensurations - the Mu-meter.

Due to superficial coat of Santos Dumont's runway is made of the Porous Friction Course, it is also presented, showing important concepts and explaining the details that should be observed during its execution and its maintenance.

Finally, a historical analysis of the results of mensurations accomplished by DIRENG between 1997 and 2003 on the Santos Dumont Airport's runway is made.

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CAP	Concreto Asfáltico de Petróleo
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CPA	Camada Porosa de Atrito
D	Diâmetro não deformado
DAC	Departamento de Aviação Civil
DIRENG	Diretora de Engenharia
FAA	Federal Aviation Administration
FW	Friction Wheels
F60	Número referente ao atrito na fórmula de correlação entre medições de atrito
ICAO	International Civil Aviation Organization
IFI	International Friction Index
NASA	National Aeronautics and Space Agency
NOTAM	Notice to Air Men
S	Escorregamento
$S_p$	Número referente à textura na fórmula de correlação entre medições de atrito
t	Tempo
USAF	United States Air Force
$\mu$	Coefficiente de Atrito
$\mu_{\text{máx}}$	Coefficiente de Atrito máximo
$\mu_{\text{mín}}$	Coefficiente de Atrito mínimo
v	Velocidade
w	Velocidade angular
$\delta$	Deformação sob força normal
2h	Comprimento total da zona de contato

## SUMÁRIO

*DEDICATÓRIA*

*AGRADECIMENTOS*

*RESUMO*

*ABSTRACT*

*LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS*

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. HISTÓRICO .....</b>	<b>3</b>
2.1 O surgimento do aeroporto.....	3
2.2 As ampliações da pista .....	4
2.3 O surgimento da ponte aérea .....	5
2.4 A década de 90.....	6
2.5 Resumo histórico .....	8
<b>3. ATRITO EM PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS .....</b>	<b>11</b>
3.1 Alguns conceitos .....	11
3.2 Propriedades do pavimento que influem no atrito.....	13
3.3 Hidroplanagem.....	17
3.3.1 Introdução.....	17
3.3.2 Interação pneu-pavimento em pista molhada .....	17
3.4 Recomendações.....	23
<b>4. MEDIÇÃO DE ATRITO EM PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS .....</b>	<b>27</b>
4.1 Introdução .....	27
4.2 Equipamentos de medição do coeficiente de atrito .....	28
4.3 Correlação entre as medições do coeficiente de atrito .....	31
4.4 Método da Mancha-de-Areia .....	31
<b>5. MU-METER.....</b>	<b>33</b>
5.1 Funcionamento do Mu-meter .....	33
5.2 Procedimentos de ensaio .....	35

<b>6. CAMADA POROSA DE ATRITO (CPA)</b> .....	<b>38</b>
<b>6.1 Conceitos</b> .....	<b>38</b>
<b>6.2 Redução dos ruídos</b> .....	<b>40</b>
<b>6.3 Mecanismos de degradação</b> .....	<b>42</b>
<b>6.4 Processo construtivo</b> .....	<b>43</b>
<b>6.5 Vantagens e desvantagens da Camada Porosa de Atrito</b> .....	<b>44</b>
<b>6.5.1 Vantagens</b> .....	<b>44</b>
<b>6.5.2 Desvantagens</b> .....	<b>45</b>
<b>6.6 Experiência em rodovias americanas</b> .....	<b>46</b>
<b>7. COEFICIENTE DE ATRITO NO AEROPORTO SANTOS DUMONT</b> .....	<b>49</b>
<b>7.1 Histórico de resultados</b> .....	<b>49</b>
<b>7.2 Análise dos resultados</b> .....	<b>55</b>
<b>8. CONCLUSÃO</b> .....	<b>59</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>61</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>64</b>
<b>Anexo 1 – Medições de Atrito da Pista Principal do Aeroporto Santos Dumont     Realizadas com o Equipamento Mu-meter</b> .....	<b>64</b>
<b>Anexo 2 – Check List de Operação</b> .....	<b>92</b>
<b>Anexo 3 – Especificações Técnicas para Camada Porosa de Atrito</b> .....	<b>99</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1 – Vista aérea do aeroporto Santos Dumont e da Baía de Guanabara.....</i>	<i>3</i>
<i>Figura 2.2 – Hall central do terminal de passageiros.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 2.3 – Pátio de estacionamento de aeronaves.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2.4 – Vista aérea de uma das cabeceiras da pista de pouso .....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 3.1 – Mecanismos de força de atrito.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 3.2 – Efeito da textura do pavimento no coeficiente de atrito.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 3.3 – Zonas de contato entre o pneu e o pavimento.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3.4 – Efeito da velocidade nas zonas de contato .....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3.5 – Variação do coeficiente de atrito com o escorregamento. ....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 3.6 – Efeito da água e do gelo na variação do atrito .....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 4.1 - Adhera .....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 4.2 – ASTM E-274.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 4.3 – SCRIM.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 4.4 – Mu-meter.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 4.5 - Griptester.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 4.6 – Pêndulo britânico.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 4.7 – Método da Mancha-de-Areia .....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 5.1 – Mu-meter pronto para a medição do atrito .....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 5.2 – Figura esquemática do Mu-meter .....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 5.3 – Prancha padrão de teste .....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 6.1 – Texturas típicas .....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 6.2 – Esquema de funcionamento de uma Camada Porosa de Atrito.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 6.3 – Comparação da capacidade de dreno dos dois tipos de asfalto.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 6.4 – Influência dos diversos tipos de pavimento no nível de ruído .....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 6.5 – Comparativo de acidentes de trânsito no Japão antes e depois da CPA.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 6.6 – Estimativa média da vida de serviço de uma CPA.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 6.7 – Desempenho da CPA em termos de durabilidade.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 6.8 – Desempenho da CPA em termos de atrito superficial.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 7.1 – Esquema da pista 20L/02R do Santos Dumont.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 7.1 – Gráfico do coeficiente de atrito do 1º terço.....</i>	<i>52</i>

<i>Figura 7.2 – Gráfico do coeficiente de atrito do 1º terço.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 7.3 – Gráfico do coeficiente de atrito do 2º terço.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 7.4 – Gráfico do coeficiente de atrito do 2º terço.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 7.5 – Gráfico do coeficiente de atrito do 3º terço.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 7.6 – Gráfico do coeficiente de atrito do 3º terço.....</i>	<i>54</i>

## ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 3.1 - Frequência de avaliação do coeficiente de atrito.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabela 3.2 - Frequência de remoção de contaminantes.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabela 3.3 – Frequência de medições sugeridas pela DIRENG.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 5.1 – Valores de referência de coeficientes de atrito medidos com o Mu-meter.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 7.1 – Valores médios de cada trecho de 400 m. ....</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 7.2 – Frequência do desemborrachamento.....</i>	<i>55</i>

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da indústria aeroespacial levou, sem dúvida, a um aumento na capacidade de transporte e, conseqüentemente, no porte médio dos aviões mais modernos. Este ganho de desempenho deu-se num momento em que boa parte da malha aeroviária brasileira já estava implantada, inclusive o Aeroporto Santos Dumont, obedecendo a conceitos geométricos por vezes incompatíveis com as características apresentadas pelos aviões modernos. O fluxo nacional também sofreu um grande incremento levando a um aumento considerável do volume de tráfego em nossos aeroportos.

Por sua tropicalidade, diversas regiões de nosso país estão expostas a ocorrências constantes de chuvas, o que vem a contribuir também, para que aumentem as possibilidades de ocorrência de acidentes, uma vez que as condições de aderência nessa situação pioram sobremaneira.

Todos estes condicionantes, entre outros, fizeram com que os aeroportos se adequassem a essa nova ordem mundial, realizando as intervenções mais apropriadas a cada aeroporto.

Na medida em que essas intervenções possam minimizar os efeitos das condições climáticas e possam ainda, manter os níveis de aderência entre os pneus e a pista em condições diferenciadas também em tempo seco, contribui-se certamente, para que diminuam as ocorrências de acidentes e, complementarmente, diminui a gravidade daquelas que não se pode evitar, aumentando assim, o nível de segurança da atividade aeroportuária.

Sendo assim, este trabalho visa tecer comentários e fazer uma análise do atrito da pista do Aeroporto Santos Dumont, face a relevância do assunto para o aeroporto. Para tanto, foram abordados tópicos importantes e necessários para uma melhor compreensão dos fenômenos que envolvem esse tema.

Inicialmente foi feito um breve resumo histórico do Aeroporto Santos Dumont, dando ciência ao leitor de algumas datas e ocorridos importantes.

Em seguida, foi feito um estudo de como o atrito influencia nas operações de pouso e decolagem de uma aeronave. Foram mostrados os tipos existentes de atrito em pavimentos, bem como os tipos de aquaplanagem, uma classificação com relação à macro e micro-textura do pavimento e algumas recomendações da FAA e da ICAO.

Discutiu-se também, o modo como são feitas as medições e as recomendações pertinentes a esse tipo de serviço, além de ter sido dedicado um capítulo somente para o aparelho utilizado pela DIRENG para a realização das medições – o Mu-meter.

Outro assunto aqui tratado, e que é de fundamental importância para que todas as exigências que dizem respeito ao atrito no Aeroporto Santos Dumont sejam atendidas, é a Camada Porosa de Atrito. Este revestimento é responsável pela melhora da condição do atrito, embora dependa de constante monitoramento para que isso seja possível.

Por fim, foram feitas análises e recomendações baseadas em um conjunto de dados, fruto de 7 anos de contínuas medições de atrito realizadas pela DIRENG, e que podem ser úteis para futuras reavaliações.

## 2. HISTÓRICO

### 2.1 O surgimento do aeroporto



Figura 2.1 – Vista aérea do aeroporto Santos Dumont e da Baía de Guanabara

De acordo com a Infraero (2004), no início da década de 30, o Rio de Janeiro já era uma grande cidade e, sobretudo, a capital do Brasil. Devido a sua importância, o Rio de Janeiro já sentia a necessidade de possuir um aeroporto para a operação de outros tipos de aeronaves, além dos hidroaviões que já operavam.

Para isso, decidiu-se implantar o referido aeroporto no aterro do calabouço, pois esta era uma região extremamente próxima do centro da cidade e de um visual deslumbrante. A sua localização lhe confere, atualmente, o título de aeroporto mais central do mundo, ficando a apenas 5 minutos do centro da cidade.

As obras começaram em 1934, em terreno cedido pela Prefeitura do Distrito Federal ao então Ministério da Viação e Obras Públicas.

A primeira parte dos trabalhos constituiu-se basicamente da ampliação do aterro em mais 370 mil metros quadrados. O projeto exigiu a construção de uma muralha de contenção e o lançamento de mais de 2,7 milhões de metros cúbicos de areia na área conquistada ao mar.

Antes mesmo de estar concluído, uma parte já estava sendo utilizada, franqueado aos 400 metros para pequenas aeronaves. Mais tarde, em 1936, quando alcançou 700 metros e foi

aberto para aparelhos de maior porte. O primeiro aeroporto civil do País era finalmente inaugurado.

## 2.2 As ampliações da pista

Em 30 de novembro de 1936, a tão esperada viagem de inauguração, organizada pela Vasp, com um dos seus dois aparelhos Junker 52, trimotor, de fabricação alemã, e com lotação de 17 passageiros, pousou com absoluto sucesso no Aeroporto Santos-Dumont.

Já nesse momento, surgia a necessidade de providenciar a construção de uma estação de passageiros. Esta passou por um processo de licitação e logo em seguida iniciaram-se as obras. A estação ficou totalmente pronta em 1947, e seu processo de ocupação se deu por etapas.



Figura 2.2 – Hall central do terminal de passageiros

Enquanto isso, outras obras importantes continuavam a ocorrer. Entre elas, mais uma ampliação da pista, desta vez em 150 metros, elevando a sua extensão de 900 para 1.050 metros.

Apesar dessa ampliação, a constante evolução da tecnologia na aviação era visível. Outros modelos de aviões foram sendo projetados e fabricados. Como esse avanço era traduzido no aumento da capacidade de transporte de passageiros, no aumento da autonomia em vôo e em maiores velocidades, as aeronaves passaram a necessitar de pistas de pousos cada vez maiores, para que os procedimentos de pouso e decolagem fossem realizados com maior segurança e conforto possíveis.

Com a chegada dos quadrimotores, como o DC-4 e o Constellation, a pista do Santos-Dumont não apresentava mais as dimensões adequadas ao pouso e decolagem de aviões de tal porte, levando o DAC a lançar mão da Base Aérea do Galeão, onde já estava decidido, seria construído um novo terminal, o Aeroporto Internacional do Galeão.

A execução de adequações técnicas fazia-se necessária. Sua pista principal, já muito curta para os aparelhos da nova geração, ganhou mais 300 metros, passando para 1.350 metros, extensão compatível, junto com a construção de uma pista auxiliar de 1.260 metros, com as operações de aeronaves mais modernas e de maior porte, como os próprios DC-4 e Constellation, já empregados nas linhas domésticas. Varig, Cruzeiro do Sul, Vasp e Panair tratavam de modernizar suas frotas e ampliar seus raios de alcance, conquistando novas rotas.

### **2.3 O surgimento da ponte aérea**

Em 1959, de acordo com a Infraero (2004), o intenso movimento entre São Paulo e Rio de Janeiro explorado por diferentes companhias, sem compatibilidade, sobretudo de horários, deflagrava uma iniciativa inédita: a criação da Ponte Aérea, um pool de empresas que operavam a rota ligando as duas capitais mais importantes do País. A medida visava disciplinar os serviços prestados, compatibilizando interesses de fornecedores e consumidores. Seus resultados foram tão positivos que inspiraram sistemas similares em outros países. Com a ampliação das pistas, feita poucos anos antes, e a reformulação de seus sistemas de drenagem que, por ocasião de chuvas intensas, não absorviam bem as águas pluviais, prejudicando pousos e decolagens, a Ponte Aérea conseguiu reduzir seus problemas de atendimento.

Em 1974, as quatro empresas que exploravam a Ponte Aérea passam a operar com equipamento padronizado, o Electra II, que garantiu regularidade, conforto e rapidez, permitindo alcançar a tão almejada excelência dos serviços. Por outro lado, a nova administração também tratou de empreender uma série de obras infra-estruturais, como a

renovação, em 1977, do concreto da pista principal, além de obras de menor porte, como a criação de uma sala especial para autoridades, instalações para atendimento médico de emergência, abertura de espaço para novas lojas de conveniências e ampliação do estacionamento, entre outras.

Ocupando uma área de 550 mil metros quadrados, dos quais 7.600 da Estação Central, o Aeroporto Santos-Dumont crescera consideravelmente e na década de 80 franqueava seus complexos a várias linhas regionais e empresas de táxi aéreo, além de oferecer dezenas de serviços complementares. Já eram 1,57 milhão de passageiros / ano, contra a marca de 1,1 milhão registrados em 1975, conforme registros da Infraero (2004).

## **2.4 A década de 90**

No início dos anos 90, a contínua busca da eficiência de seus serviços aeroportuários gerou, em 1992, outras grandes modificações na Ponte Aérea Rio – São Paulo. Depois de 18 anos como único equipamento a servi-la, o turboélice Electra II, construído nos Estados Unidos entre as décadas de 50 e 60, saía de linha em 11 de novembro de 1991, sendo substituído pelos modernos Boeing 737-300. Em três meses, 14 aparelhos Electra cederam gradativamente lugar a dez Boeing, com a vantagem de 132 assentos contra 90, maior velocidade e, portanto, sete minutos a menos de viagem. Na época, a pista, considerada curta para pouso e decolagem de aviões desse porte, além de apresentar dois obstáculos nas cabeceiras, de um lado o Pão de Açúcar, de outro a Ponte Rio-Niterói, provocou controvérsias.

Em relação à curta pista, foram adotadas algumas medidas para que tal fato não se tornasse um empecilho ao pleno funcionamento do aeroporto, sendo descartada uma nova ampliação da pista, já que uma outra obra desse tipo se mostrou completamente inviável do ponto de vista econômico. Assim, uma dessas medidas foi a mudança do tipo de superfície, antes de concreto asfáltico normal, para Camada Porosa de Atrito, cuja principal característica é o elevado coeficiente de atrito, proporcionando assim, uma maior aderência entre os pneus das aeronaves e a superfície, principalmente em dias de chuva, onde essa situação se torna mais crítica. Dessa forma, o atrito da pista de pouso do aeroporto passou a ser um fator de bastante preocupação no que tange às constantes medidas de atrito e à manutenção do nível mínimo do coeficiente de atrito, que no caso do Santos Dumont, é maior que nos demais aeroportos.

E no que diz respeito aos dois obstáculos nas cabeceiras, os pilotos foram submetidos a treinamento intensivo e procederam a manobras consideradas perfeitas, encerrando a polêmica em pouco tempo. Os velhos aparelhos foram vendidos para os Estados Unidos e Canadá, deixando o Brasil, sobretudo o Aeroporto Santos-Dumont, cumprir mais uma etapa de sua vocação de acompanhar de perto a evolução da aviação civil.

Durante o ano de 1997 o Aeroporto Santos-Dumont recebeu oito mil passageiros em média por dia, operando 120 vôos, também diários. Este volume sofreu significativo aumento após a conclusão das obras de recuperação do Terminal de Passageiros, motivadas pelo incêndio ocorrido em fevereiro de 1998.

Em setembro de 1998, a média de passageiro-dia registrou um volume de 11.000, aproximadamente, abrangendo uma média de 289 pousos e decolagens diárias.



Figura 2.3 – Pátio de estacionamento de aeronaves

## 2.5 Resumo histórico

Segue abaixo um resumo histórico dos principais acontecimentos do Aeroporto Santos Dumont desde sua criação até 1998.

**1931:** Criado o Departamento de Aeronáutica Civil (DAC) e aprovada a proposta de construção do aeroporto.

**1934:** Março, 21 – Contrato entre o Departamento de Aeronáutica Civil e a Companhia Nacional de Construções Hidráulicas para as obras do aeroporto.

Julho, 6 - Assinatura do Termo de Cessão do Terreno do Calabouço, pela Prefeitura do Distrito Federal.

**1935:** Aberta a operação de pequenas aeronaves, em setembro, a primeira pista de 400 metros de comprimento.

**1936:** Ampliada a pista para 700 metros, com capacidade para aviões de 10 toneladas.

Outubro, 16 – Decreto nº 1.150, assinado pelo Presidente Getúlio Vargas, dá o nome de Santos-Dumont ao primeiro aeroporto do Rio de Janeiro.

Novembro, 30 – Realizada, finalmente, sem acidentes, a viagem da VASP entre Rio de Janeiro e São Paulo, de ida e volta, que passou então a ser considerada a viagem inaugural da linha.

**1937:** Ampliada a pista para 950 metros e, logo a seguir, para 1.050 metros. Iniciada a construção do grande hangar Caquot.

**1939:** Passaram a operar no Aeroporto Santos-Dumont os quadrimotores Focke-Wulf PW-200, chamados Abaliará e Arumani, do Sindicato Condor, que vieram voando da Alemanha até o Rio de Janeiro.

**1941:** Janeiro, 20 – Decreto-Lei nº 2.961 cria o Ministério da Aeronáutica.

**1942:** A VARIG (Viação Aérea Riograndense) passa a operar no Aeroporto Santos-Dumont.

**1946:** Inaugurada a primeira linha da Panair do Brasil para a Europa com uso de aviões Constellation.

**1955:** Última ampliação das pistas de 1.050 metros de comprimento.

**1959:** Julho, 5 – Criação da Ponte Aérea Rio-São Paulo, com a formação de um pool de três empresas.

**1960:** A Panair do Brasil, já em crise, introduz em suas linhas os aviões DC-4 e Caravelle.

**1972:** Dezembro, 12 – Lei nº 5.862 cria a INFRAERO (Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária).

**1974:** Padronização do tipo de aeronave da Ponte Aérea Rio - São Paulo, com emprego exclusivo de aviões Electra.

**1977:** O sistema de Transporte Aéreo Regional, no Aeroporto Santos-Dumont, passa a representar 25% dos vôos regulares, com 54 freqüências semanais.

**1978:** O Sistema de Transporte Aéreo Regional supera a meta prevista para três anos depois (1981), com 40 mil passageiros/ano.

**1980:** A Ponte Aérea Rio - São Paulo ultrapassa dois milhões de lugares oferecidos e alcança índice de 85% de aproveitamento.

**1992:** Substituição dos aviões Electra por Boeing na Ponte Aérea Rio-São Paulo.

**1998:** Fevereiro, 13 - Incêndio destrói parcialmente o prédio do Aeroporto Santos-Dumont.

Agosto, 15 – Reinício dos vôos da Ponte Aérea Rio-São Paulo, o aeroporto volta a operar plenamente.



Figura 2.4 – Vista aérea de uma das cabeceiras da pista de pouso

### 3. ATRITO EM PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

#### 3.1 Alguns conceitos

As superfícies dos corpos, por mais polidas que possam parecer do ponto de vista macroscópico, apresentam rugosidade quando analisadas microscopicamente. Em consequência, se duas superfícies em contato apresentarem tendência a se mover uma em relação à outra, surge uma força "resistente": a força de atrito. No caso da força aplicada não ser suficiente para colocar o corpo em movimento, a força de atrito se opõe à força aplicada e é chamada força de atrito estático. Nessa hipótese, a constante de proporcionalidade é o "coeficiente de atrito estático" ( $\mu_e$ ).

No caso de ocorrer movimento, aparece a chamada força de atrito cinético ( $f_c$ ) entre as superfícies, que tem sentido contrário ao do movimento. A teoria prevê que ela seja constante, independente da área de contato e proporcional à força normal exercida por uma das superfícies sobre a outra. Esta proporcionalidade é expressa através do chamado "coeficiente de atrito cinético" ( $\mu_c$ ).

As constantes de atrito estático e cinético podem dizer muito sobre as características das superfícies em contato. É interessante destacar que o coeficiente de atrito estático máximo é sempre maior que o coeficiente de atrito cinético ( $\mu_{e\text{ máx}} > \mu_c$ ).

Quando se trata de segurança aeroviária, um dos principais aspectos a ser levado em conta 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 o procedimento de decolagem, no qual esta parte do repouso e atinge a velocidade ideal para levantar vôo, bem como o procedimento de pouso, em que a aeronave se aproxima a uma determinada velocidade e tem de parar com conforto e segurança.

A aderência pneu-pavimento é fortemente influenciada pela qualidade da área de contato pneu-pavimento, sendo que a presença de água ou não é um fator importante a ser considerado. Essa aderência depende ainda da força de atrito resultante do contato entre as duas superfícies, como afirma Souza *et al* (1994).

Fisicamente, a intensidade da força de atrito entre duas superfícies em contato é diretamente proporcional ao coeficiente de atrito e à intensidade da força normal entre as duas superfícies.

No estudo da interação pneu-pavimento, segundo Meurer Filho (2001), este coeficiente de atrito passa a depender de vários fatores, como a presença de água, a velocidade de deslocamento, tipo e condição do pavimento, natureza e estado dos pneus etc.

De acordo com Poncino (2001), o coeficiente de atrito pode ser dividido em duas categorias:

- Coeficiente de atrito longitudinal;
- Coeficiente de atrito transversal.

O coeficiente de atrito longitudinal diz respeito à força que se desenvolve na área de contato pneu-pavimento quando se arrasta uma roda travada por meio de um veículo trator. Esse coeficiente simula uma situação de frenagem de emergência no sentido longitudinal.

O coeficiente de atrito transversal diz respeito à força perpendicular ao plano de rotação da roda, quando esta circula com um ângulo em relação à sua direção de avanço. Este coeficiente é o que melhor representa uma situação de derrapagem.

Existem, também, dois mecanismos responsáveis pelo atrito entre o pneu e o pavimento, como mostrado na figura abaixo:

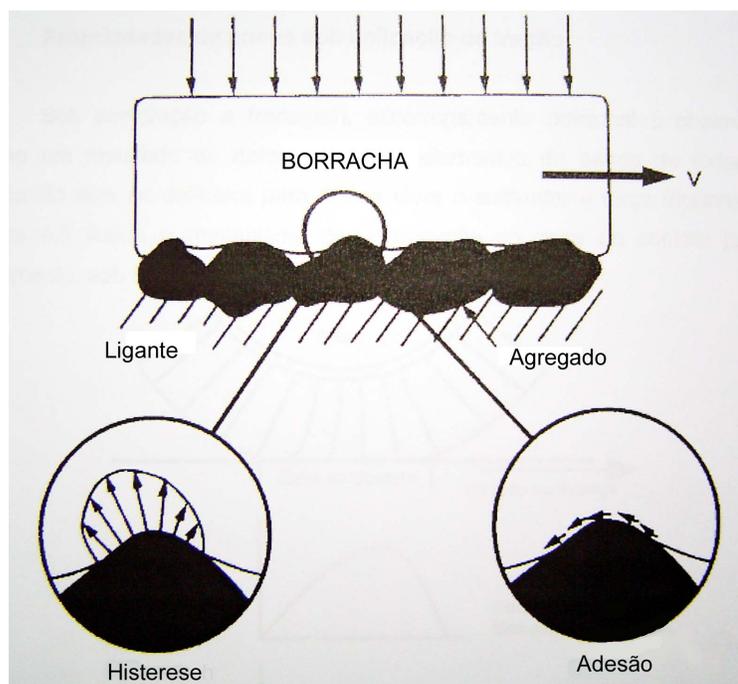


Figura 3.1 – Mecanismos de força de atrito

O 1º mecanismo é a adesão superficial, que surge dos vínculos intermoleculares entre a borracha e o agregado da superfície do pavimento. Esta é a maior responsável pelo atrito em pistas secas, mas, por outro lado, sofre redução substancial quando o pavimento se encontra molhado, causando a perda de atrito em pistas molhadas.

O 2º mecanismo consiste no mecanismo de histerese, que representa a perda de energia da borracha quando ela se deforma, deslizando sobre o agregado do pavimento. O atrito por histerese não é tão afetado pela presença da água na superfície. Portanto, pneus compostos por borrachas com alto valor de histerese costumam ter valores melhores de tração em pavimentos molhados.

Ambos os mecanismos, o de adesão e o de histerese, são influenciados pelo escorregamento da interface pneu-pavimento.

### **3.2 Propriedades do pavimento que influem no atrito**

O coeficiente de atrito varia de acordo com o comportamento do pneu e sua interação com o pavimento, gerando o atrito tanto por histerese quanto por adesão, que variam de acordo com as características físicas da superfície da pista, principalmente da textura e da micro-textura da pista.

De acordo com Gillespie (1992), o mecanismo de força de atrito por histerese é relacionado à macro-textura da superfície do pavimento enquanto que a força de atrito por adesão é ligada à micro-textura do pavimento.

A ESDU (1971) classifica os pavimentos em quatro tipos de acordo com a rugosidade da macro e da micro-textura do pavimento. São eles:

- ***Pavimentos tipo I***

O primeiro tipo de pavimento caracteriza-se por apresentar uma macro-textura aberta e uma micro-textura rugosa e áspera, permitindo alta adesão entre a borracha do pneu e o pavimento. Este tipo de pavimento proporciona, ainda, um alto índice de histerese da borracha quando esta se deforma para acompanhar as saliências do piso.

Nota-se que pavimentos do tipo I não sofrem perda acentuada de propriedades de atrito na presença de água, devido à capacidade de permitir o escoamento do fluido quando da movimentação do pneu sobre o pavimento, em qualquer velocidade de deslocamento da aeronave.

Os pavimentos do tipo I são característicos de pistas recém construídas, que não sofreram desgaste do seu material agregado na superfície, ou de pistas construídas com material granulado advindo de rochas mais resistentes à erosão e que resistem melhor à utilização, mantendo suas características em relação ao atrito por mais tempo.

- ***Pavimentos tipo II***

Os pavimentos do tipo II possuem macro-textura com alto nível de rugosidade, porém, com micro-textura suave.

Pavimentos desse tipo apresentam menor valor de atrito por adesão devido à menor capacidade de borracha (da banda de rodagem do pneu) aderir à micro-textura mais suave do pavimento. Em pistas de pouso com altas taxas de utilização, o material agregado da superfície costuma se desgastar, e faz pavimentos do tipo I tomar a forma de pavimentos do tipo II, principalmente em regiões em que se fez uso de material rochoso menos resistente à abrasão na construção do pavimento, onde a utilização desse material como agregado em pavimentos acarreta no seu desgaste com o passar do tempo, perdendo então suas características de atrito, especialmente na condição de pista molhada.

O atrito por histerese, nesse tipo de pavimento, é responsável pela maior parte da força de frenagem gerada em condições de pista molhada. Pneus construídos com materiais que permitam valores altos de coeficiente de atrito por histerese apresentam melhor desempenho nas referidas condições.

Como esse tipo de pavimento possui uma macro-textura aberta, o escoamento da água acumulada sobre o pavimento ainda é passível de acontecer, diminuindo os riscos de hidroplanagem; no entanto, é necessário registrar que aumentos de velocidades e aumentos de espessura da lâmina d'água podem acarretar a ocorrência da hidroplanagem.

- ***Pavimentos tipo III***

Já o pavimento do tipo III possui uma macro-textura suave, ou seja, mais fechada, porém com uma micro-textura rugosa, como é o caso de um pavimento típico, recém construído. Pavimentos desse tipo apresentam um valor de atrito por adesão alto devido à micro-textura rugosa, fazendo com que o valor do coeficiente de atrito em pista seca seja alto.

No caso de frenagens em pistas molhadas, o valor de atrito por adesão é alto, permitindo valores satisfatórios de frenagem gerada pelo pneu. No entanto, devido à macro-textura ser mais fechada, a água acumulada sobre a pista demora mais à escoar, sendo certo que os únicos canais possíveis para o escoamento são os sulcos e ranhuras dos pneus e a

inclinação do pavimento. Isto, juntamente com o aumento da velocidade, facilita o efeito da hidroplanagem, reduzindo o tamanho da zona de contato seco entre o pneu e o pavimento e diminuindo o valor geral do coeficiente de atrito.

Como mencionado acima, este tipo de pavimento é mais sensível ao acúmulo da água, devido à uma macro-textura menor que as presentes nos tipos I e II, posto que, nestes, é possível o escoamento de água também pelas ranhuras da superfície do pavimento.

- ***Pavimentos tipo IV***

Os pavimentos do tipo IV, caracterizam-se por uma macro-textura fechada e uma micro-textura suave.

Além disso, apresentam uma queda pronunciada do valor do coeficiente de atrito para pista molhada, causada pelos baixos índices de atrito por adesão, assim como incapacidade de escoar a água acumulada sobre a pista por meio da superfície do pavimento. No entanto, em pista seca, o valor de força de frenagem que pode ser gerada, também é menor, devido aos valores pequenos de atrito por adesão e por histerese, fazendo com que uma aeronave necessite de uma distância maior para executar uma frenagem.

Os pavimentos dos outros tipos podem atingir a forma do tipo IV através do uso e do desgaste dos agregados do revestimento, principalmente onde os fatores climáticos podem acumular grande quantidade de sujeira na pista, que lentamente vai preenchendo a macro-textura, enquanto que o uso freqüente vai desgastando lentamente a micro-textura da pista. Quando o estado do pavimento atinge esse ponto, é recomendável a execução de atividades de manutenção, restaurando as características que permitam a obtenção de maior segurança para a operação das aeronaves.

A figura 3.2, retirada de ESDU (1971), mostra uma visão em corte desses quatro tipos de pavimento, assim como o comportamento geral do coeficiente de atrito em função da velocidade, para situações de pista seca e molhada.

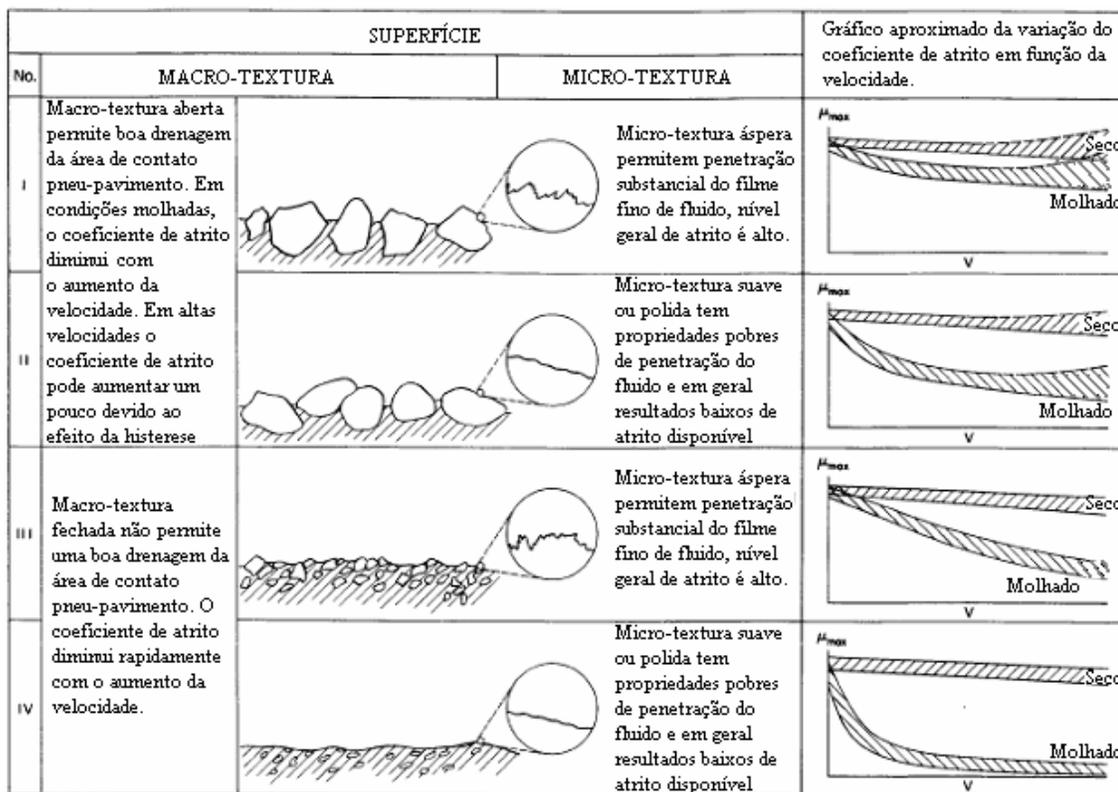


Figura 3.2 – Efeito da textura do pavimento no coeficiente de atrito.

No primeiro caso, percebe-se pelo gráfico que o coeficiente de atrito se mantém bem elevado, mesmo em condições adversas, quando o pavimento está molhado e a aeronave ou um veículo está em alta velocidade. Isto ocorre porque a macro-textura aberta permite um escoamento mais rápido da água, diminuindo assim a perda de atrito por adesão, que é a mais afetada com a presença de água.

Já no segundo caso, essa diminuição do coeficiente de atrito em pistas molhadas é mais acentuada, visto que, mesmo com uma macro-textura aberta, a perda de adesão é maior devido à sua micro-textura ser mais suave.

No terceiro e quarto casos, a macro-textura é fechada, o que ocasiona uma menor velocidade no escoamento das águas da chuva, formando uma película d'água sobre o pavimento. Isto faz com que a perda de atrito por adesão seja maior, sendo o quarto caso pior ainda face à sua micro-textura mais polida. E, pelo fato da macro-textura ser fechada, o atrito por histerese também é menor que nos dois primeiros casos.

## **3.3 Hidroplanagem**

### **3.3.1 Introdução**

Estudos realizados sobre acidentes em diversas regiões do mundo, revelam alguns dados estatísticos importantes. Segundo Poncino (2001), na França, por exemplo, o número de acidentes com o pavimento molhado é praticamente o dobro, quando comparado com o pavimento na condição seca.

Já um estudo realizado pela McDonnell Douglas em 1997, como diz ASFT (2004), aponta as pistas contaminadas por água ou gelo como a quarta maior causa de acidentes em pousos e táxis nos Estados Unidos entre 1992 e 1996.

Cardoso *et al* (1995) afirma que aspectos como a espessura da lâmina d'água, rugosidade da superfície e capacidade de evacuação da água pelos sulcos do pneu devem ser levados em consideração quando o pavimento se encontra na condição molhada.

A Flight Safety Foundation, de acordo com ASFT (2004), define que a aquaplanagem (também chamada de hidroplanagem) inicia-se no ponto onde a elevação hidrodinâmica sob os pneus equivale ao peso do veículo conduzido sobre as rodas. A partir desse ponto, qualquer aumento da velocidade acima desse valor crítico elevará completamente o pneu do pavimento - é aí que a aquaplanagem se inicia.

### **3.3.2 Interação pneu-pavimento em pista molhada**

De acordo com Cardoso *et al* (1995), quando um veículo se desloca sobre um pavimento na condição molhada, existem três zonas na interface pneu-pavimento: a zona molhada, a zona intermediária e a zona seca. A figura 3.3, retirada também de Cardoso *et al* (1995), ilustra as três zonas distintas.

A zona molhada (zona 1) localiza-se na frente da zona de contato do pneu e o tamanho dela depende, principalmente, da velocidade do veículo. É a região com maior concentração de água e onde há um maior risco de hidroplanagem.

A zona intermediária (zona 2), também conhecida como zona de transição, é a região onde a lâmina d'água deve ser rompida, e onde o contato seco começa a ocorrer.

A zona seca ou de contato (zona 3) é a região onde ocorre o perfeito contato pneu-pavimento, pois a presença de água é teoricamente nula.

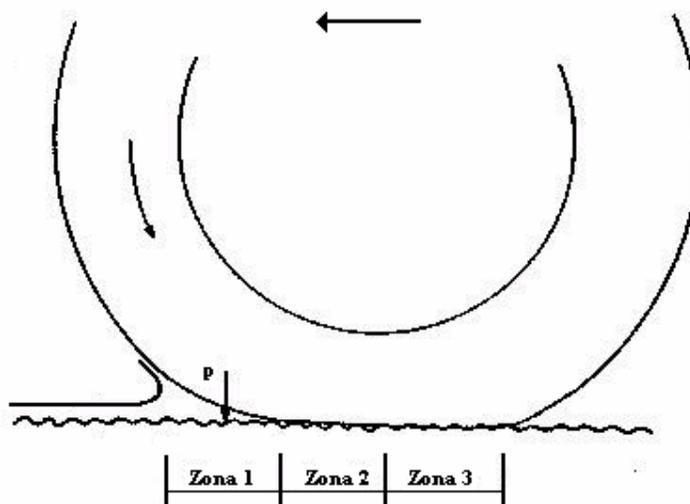


Figura 3.3 – Zonas de contato entre o pneu e o pavimento.

A área da zona 3 abrange a maior parte da área de contato entre o pneu e o pavimento. À medida que a velocidade do veículo aumenta, ocorre redução da área da zona de contato (zona 3) e aumento das áreas das zonas intermediária (zona 2) e molhada (zona 1). Segundo Kokkalis (1998), quando a área da zona de contato se torna nula, ocorre o fenômeno de hidroplanagem, que é a separação do pneu-pavimento devido à pressão d'água existente sob o pneu.

A hidroplanagem na zona 1 é chamada de hidroplanagem dinâmica, onde uma camada contínua e relativamente espessa de água permanece entre o pavimento e o pneu, o qual não consegue expulsar a água pelos seus sulcos, acarretando na completa perda de tração, como pode ser visto na letra *d* da figura 3.4.

Cabe também destacar a ocorrência do fenômeno da viscoplanagem na zona intermediária (zona 2). Nessa zona, segundo Momm (2002), existe uma película d'água entre o revestimento e o pneu que atua como um obstáculo para o contato entre as arestas das asperezas do revestimento e o pneu. Com isso, pode ocorrer um deslocamento entre a banda de rodagem do pneu e o revestimento no domínio da viscosidade da água, mostrado na letra *c* da próxima figura.

O fenômeno da viscoplanagem ocorre geralmente em pavimentos úmidos (após a ocorrência de chuvas), enquanto que o fenômeno da hidroplanagem se dá em pavimentos na condição molhada (durante a ocorrência de chuvas).

Nos revestimentos asfálticos densos ou impermeáveis, Meurer Filho (2001) diz que boa parte da evacuação da água superficial é obtida pelos canais dos sulcos dos pneus, sendo a macro-textura do revestimento responsável por uma parcela menor.

A influência da velocidade na banda de rodagem do pneu pode ser vista na figura 3.4, retirada de ESDU (1971), na qual os dois primeiros desenhos mostram como as zonas de contato são afetadas com o aumento da velocidade, enquanto que o terceiro mostra uma situação de viscoplanagem, e o quarto, uma situação de hidroplanagem dinâmica.

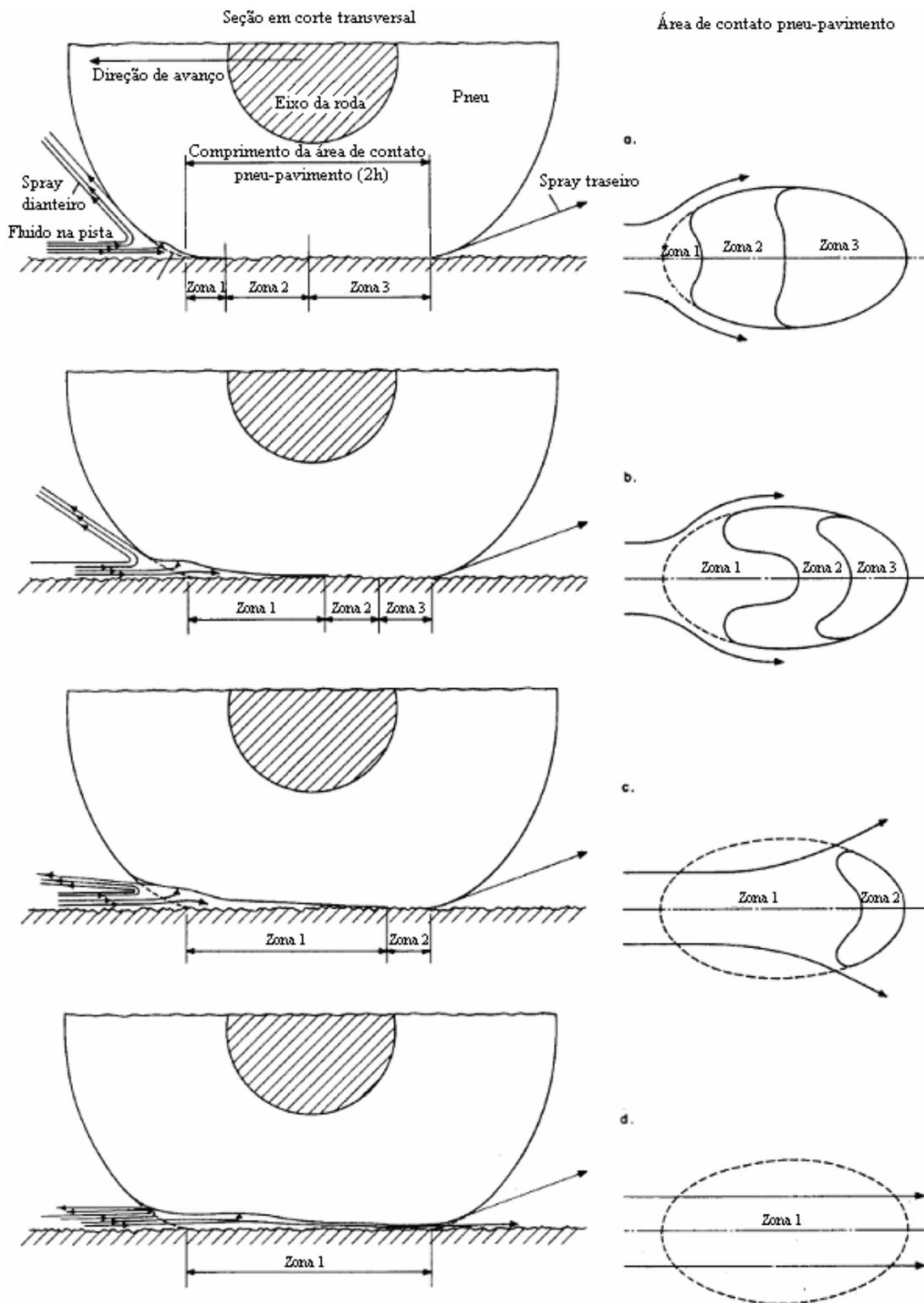


Figura 3.4 – Efeito da velocidade nas zonas de contato

Entretanto, não só da velocidade depende o tamanho das zonas de contato. Esses tamanhos são determinados também pela textura da superfície, da profundidade, da densidade e viscosidade do fluido, do padrão de desenho da banda de rodagem e da pressão de inflagem do pneu e o tempo que um determinado elemento da banda de rodagem leva para atravessar a zona de contato e a velocidade periférica do pneu, onde a velocidade periférica do pneu é igual ao produto da velocidade angular do pneu pelo raio deformado do pneu, como mostrado na equação abaixo:

$$t = \frac{2h}{\omega \cdot \left( \frac{D}{2} - \delta \right)}$$

Onde  $2h$  é o comprimento total da zona de contato,  $D$  é o valor do diâmetro não deformado do pneu e  $\delta$  é a deformação sob força normal. Esse mecanismo explica as variações de atrito entre um pneu e o piso para situação de pista molhada.

Sob condições típicas de frenagem, segundo ESDU (1971), a força longitudinal produzida por um pneu varia com o escorregamento, como mostrado na figura abaixo, também retirada de ESDU (1971):

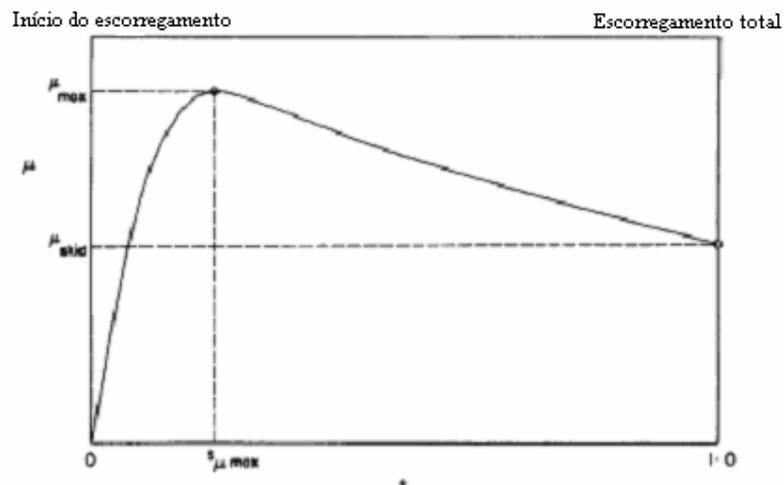


Figura 3.5 – Variação do coeficiente de atrito com o escorregamento.

Segundo Gillespie (1992), à medida que o escorregamento vai se manifestando, por exemplo, através da aplicação do freio, o atrito aumenta proporcionalmente com o aumento do escorregamento, seguindo uma curva que define uma propriedade de rigidez longitudinal do pneu. Em geral, essa propriedade não afeta de maneira crítica e direta o desempenho da frenagem, exceto no projeto de sistemas de travamento, onde a eficiência de adaptação de frenagem pode ser afetada por esse fator. A rigidez longitudinal costuma ser baixa quando o

pneu é novo e tem banda de rodagem com sulcos profundos, e vai aumentando conforme o desgaste causado pelo uso.

Numa frenagem realizada em pavimento seco, quando o escorregamento atinge valores próximos de 0,15 a 0,20, a força de atrito atinge um valor máximo (normalmente na faixa entre 70% e 90% da força normal), já que neste ponto, a maioria dos elementos da banda de rodagem na zona de contato estão efetivamente em contato com um mínimo de deslizamento em relação ao pavimento.

É importante destacar a diferença existente entre o escorregamento da zona de contato, causada pela deformação longitudinal dos elementos da banda de rodagem, e o deslizamento do elemento da banda em relação ao piso. Na primeira situação, a maioria dos elementos do pneu na zona de contato estão estáticos em relação ao piso, se aproveitando do valor mais elevado do coeficiente de atrito estático. No segundo caso, o atrito cinético passa a ser responsável pela geração da força de frenagem.

Assim de acordo com a figura 3.5, depois que se atinge o pico de força de frenagem disponível em torno do escorregamento 0,15, a força de frenagem vai caindo até chegar a situação em que nenhum elemento da banda de rodagem do pneu está em contato estático com o pavimento, estando a roda bloqueada. A força de atrito, neste caso, atinge um valor mínimo igual ao coeficiente de atrito cinético entre o pneu e o piso.

O desempenho em pistas escorregadias, por ação de contaminantes, é qualitativamente semelhante ao desempenho em pista seca, sendo a diferença o valor máximo de atrito que pode ser atingido, já que a taxa inicial com a qual a força de atrito aumenta é dependente apenas das características de rigidez do pneu. A inclinação inicial é a mesma. De acordo com Gillespie (1992), em pistas molhadas, os valores máximos de atrito vão estar na faixa de 25% a 50% da força vertical. A figura seguinte mostra claramente essa situação.

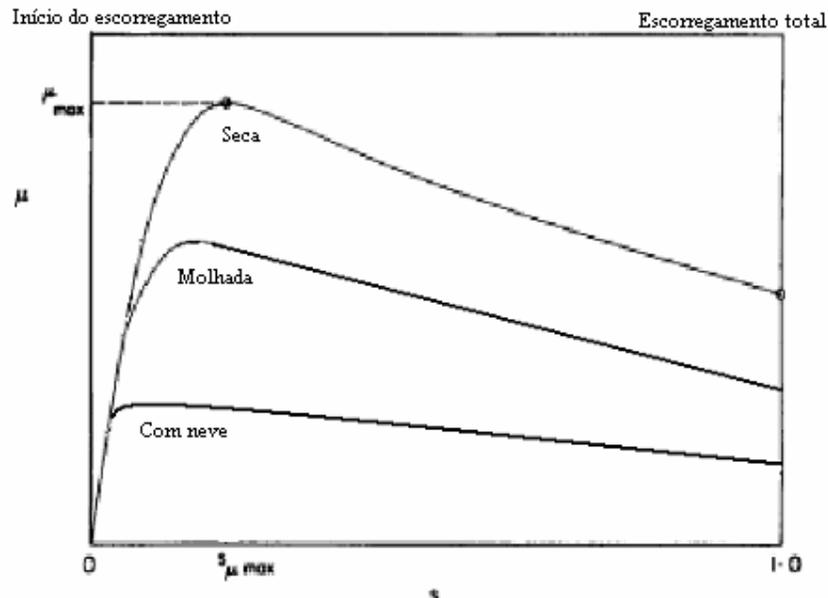


Figura 3.6 – Efeito da água e do gelo na variação do atrito

Assim, a operação de uma aeronave em pistas molhadas não é complicada apenas devido ao baixo coeficiente de atrito, mas também pelo fato da água permitir que rapidamente o escorregamento ultrapasse o ponto onde o coeficiente de atrito é máximo. No caso do gelo, essa situação é ainda pior.

Com o objetivo de caracterizar as propriedades de tração de um pneu, é comum se referir ao coeficiente de atrito no ponto de máximo e no ponto em que  $s$  iguala-se a 1. De acordo com a notação de ESDU (1971), estes são referidos, respectivamente, por  $\mu_{\text{máx}}$  e  $\mu_{\text{skid}}$ .

### 3.4 Recomendações

Devido a essa série de fatores que podem comprometer a segurança da aviação quando do pouso e decolagem, várias pesquisas foram conduzidas por agências especializadas de diferentes países do mundo, entre os quais os Estados Unidos da América, por meio da “*National Aeronautics and Space Agency (NASA)*”, da “*Federal Aviation Administration (FAA)*” e da “*United States Air Force (USAF)*”.

Um dos objetivos desses estudos é definir requisitos de atrito e de textura superficial para pavimentos de pistas de pouso e decolagem resistentes à derrapagem, e estabelecer procedimentos para o acompanhamento contínuo da evolução (monitoramento) de tais requisitos, com vistas à implementação de medidas preventivas e corretivas que assegurem às

pistas de pouso e decolagem níveis de atrito adequados às operações aéreas, sob condições meteorológicas normais e adversas.

Algumas das recomendações importantes fruto desse estudo, e que estão presentes na norma IAC 4302, estão descritas a seguir:

- Considera-se como *nível de manutenção* o valor de atrito de 0,50, medido com o aparelho Mu-meter, exceto o caso de aeroportos que possuam planos especiais de manutenção, como é o caso do Santos Dumont, nos quais o nível de manutenção passa a ser aquele definido nesses planos;
- O valor mínimo admissível para o atrito médio de qualquer segmento do pavimento, com mais de 100 metros de comprimento, medido de acordo com a metodologia estabelecida, não poderá ser inferior ao nível de manutenção;
- Sempre que uma extensão de mais de 100 metros de pista apresentar atrito inferior ao nível de manutenção, a Administração Aeroportuária deverá providenciar: (1) a solicitação de expedição de NOTAM (*NOtice To AirMen* – Aviso aos Aeronavegantes), com informações de que a pista, quando molhada, encontra-se escorregadia; e (2) iniciar, prontamente, as ações corretivas apropriadas, visando a restaurar o nível de atrito exigido.
- A profundidade média da macro-textura do pavimento de uma pista de pouso e decolagem, medida de acordo com a metodologia da “mancha-de-areia”, não deverá ser inferior a 0,50 mm, ou outro valor específico constante de plano especial de manutenção, quando houver, sendo necessária ação corretiva apropriada, toda vez que esses níveis não forem alcançados.
- A profundidade média da macro-textura recomendada para um pavimento novo é de 1 milímetro.

Uma outra recomendação importante diz respeito à frequência de verificação do coeficiente de atrito. A tabela abaixo, retirada das publicações ADVISORY CIRCULAR AC 150/5320-12C (FAA) e AIRPORT SERVICES MANUAL – PART 2 (ICAO), serve como referência para o agendamento das inspeções do nível de atrito. Ela foi elaborada levando-se em consideração um mix de aeronaves a jato, sendo em sua maioria de médio porte e algumas de grande porte. Se um percentual superior a 20 for representativo de aeronaves de grande porte em determinada cabeceira da pista em questão, deve-se selecionar o nível seguinte na referida tabela.

Tabela 3.1 - Frequência de avaliação do coeficiente de atrito

<b>NÚMERO DE ATERRISSAGENS DIÁRIAS DE AERONAVES A JATO POR CABECEIRA</b>	<b>FREQÜÊNCIA MÍNIMA DE AVALIAÇÃO DE ATRITO</b>
MENOR QUE 15	1 ANO
DE 16 A 30	6 MESES
DE 31 A 90	3 MESES
DE 91 A 150	1 MÊS
DE 151 A 210	2 SEMANAS
MAIOR QUE 210	1 SEMANA

Os valores de atrito obtidos devem ser usados como diretriz para avaliar a deterioração da superfície de pavimentos de pistas, bem como para identificar ações corretivas adequadas para a realização de operações aéreas seguras.

Quando as medidas da condição de atrito aproximam-se ou ficam abaixo do nível de Planejamento de Manutenção, a tabela a seguir serve como referência para planejar a frequência de remoção de contaminantes:

Tabela 3.2 - Frequência de remoção de contaminantes

<b>NÚMERO DE ATERRISSAGENS DIÁRIAS DE AERONAVES A JATO POR CABECEIRA</b>	<b>FREQÜÊNCIA SUGERIDA DE REMOÇÃO DE DEPÓSITO DE BORRACHA</b>
MENOR QUE 15	2 ANOS
DE 16 A 30	1 ANO
DE 31 A 90	6 MESES
DE 91 A 150	4 MESES
DE 151 A 210	3 MESES
MAIOR QUE 210	2 MESES

A eficácia de remoção da borracha não deve ser avaliada por inspeção visual, mas sim através do uso de equipamentos de medição da condição do atrito da superfície do pavimento que, no caso brasileiro, é o Mu-meter.

Entretanto, a DIRENG sugere que a frequência de medições dos AEROPORTOS INTERNACIONAIS sejam distribuídas de acordo com a tabela 3.3, que mostra a frequência de avaliação da condição superficial das pistas de pouso dos 23 aeroportos.

Tabela 3.3 – Frequência de medições sugeridas pela DIRENG

<b>AEROPORTOS INTERNACIONAIS (23)</b>	<b>FREQÜÊNCIA</b>
BELÉM	6 MESES
MACAPÁ	1 ANO
BOA VISTA	1 ANO
CRUZEIRO DO SUL	1 ANO
EDUARDO GOMES (MANAUS)	6 MESES
RIO BRANCO	1 ANO
TABATINGA	1 ANO
PINTO MARTINS (FORTALEZA)	6 MESES
AUGUSTO SEVERO (NATAL)	6 MESES
GUARARAPES (RECIFE)	6 MESES
SALVADOR	6 MESES
BRASÍLIA	6 MESES
MARECHAL RONDON (CUIABÁ)	1 ANO
CAMPO GRANDE	1 ANO
CORUMBÁ	1 ANO
PONTA PORÃ	1 ANO
ANTÔNIO CARLOS JOBIM (GALEÃO)	6 MESES
SÃO PAULO / GUARULHOS	6 MESES
VIRACOPOS (CAMPINAS)	1 ANO
SÃO PAULO / CONGONHAS	3 MESES
AFONSO PENA (CURITIBA)	6 MESES
FLORIANÓPOLIS	1 ANO
SALGADO FILHO (PORTO ALEGRE)	6 MESES
<b>DEMAIS AEROPORTOS (44)</b>	<b>2 ANOS</b>

No Aeroporto Santos Dumont - RJ o acompanhamento era realizado pela DIRENG a cada dois meses, sendo realizado agora pela própria Infraero.

## 4. MEDIÇÃO DE ATRITO EM PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

### 4.1 Introdução

Desde cedo foi percebido que a segurança de vôo requer um mínimo de controle necessário da incerteza na decolagem ou aterrissagem de aviões. Antigamente a maioria das pistas eram de grama, só alguns aeroportos tinham pistas de superfície pavimentadas. Há muito tempo atrás (em meados da década de 1920), uma pessoa poderia ler um sinal no aeroporto de Le Bourget, em Paris: "O maior aeroporto do mundo". Paris era uma das cidades mais importantes no começo do desenvolvimento do sistema de transporte aéreo e Le Bourget era um dos primeiros aeroportos que possuíam uma pista de superfície pavimentada. A necessidade das medições de atrito não era pronunciada nessa época.

A administração dos aeroportos, em muitos casos, checava o atrito através de um teste de derrapagem. Se estivesse deslizando muito, era emitida uma proibição de uso do aeroporto. Devido a acidentes e incidentes ocorridos, foi se percebendo, gradualmente, que métodos melhores teriam de ser desenvolvidos para realizar a medição de atrito das superfícies das pistas, como conta ASFT (2004).

Segurança de vôo é a razão principal de se medir o atrito. Como as aeronaves de transporte foram ficando cada vez maiores e, portanto, exigindo uma melhor aderência com o pavimento, a medição do atrito passou a ser um item importantíssimo no que diz respeito à manutenção dos aeroportos, não cabendo mais o simples teste mencionado anteriormente.

Dentre várias razões para se realizar essas medidas de atrito, podem-se destacar:

- Verificar características do atrito de pistas novas ou reformadas;
- Avaliar periodicamente o coeficiente de atrito para verificar se está acima do valor mínimo exigido para aquela pista;
- Determinar a época de ser feito algum tipo de intervenção no pavimento;
- Avaliar o coeficiente de atrito quando as características de drenagem são ruins.

## 4.2 Equipamentos de medição do coeficiente de atrito

Percebe-se que os equipamentos de medição de atrito possuem um papel fundamental nesse processo. Segundo Poncino (2001), dentre os vários princípios de funcionamento, que diferem em suas características técnicas básicas, podem-se citar os três principais. São eles:

- Equipamentos com rodas bloqueadas;
- Equipamentos com ângulo de deslizamento lateral;
- Equipamentos portáteis.

Os equipamentos de rodas travadas foram desenvolvidos para a medição do coeficiente de atrito longitudinal com aplicação de bloqueio das rodas medidoras. A medida é tomada com o pavimento úmido, uma vez que grande parte destes equipamentos possui sistema de espargimento que permite a aplicação de uma lâmina d'água sobre a pista. Como exemplo destes equipamentos, pode-se citar o Adhera, de origem francesa e que opera numa velocidade entre 40 e 140 km/h e o trailer ASTM E-274, de origem americana, que opera numa velocidade de até 65 km/h.



Figura 4.1 - Adhera



Figura 4.2 – ASTM E-274

Os equipamentos com ângulo de deslizamento lateral foram desenvolvidos para a medição do coeficiente de atrito transversal, nos quais a roda se situa num plano que forma um ângulo com a direção de avanço. Existem dois equipamentos de origem inglesas muito conhecidos no mercado: o SCRIM (Sideway force Coefficient Routine Investigatio Machine), que trabalha com um ângulo de inclinação de  $20^\circ$  e atinge uma velocidade máxima de 60 km/h, e o utilizado pela DIRENG e pela Infraero, o Mu-meter, que trabalha com um ângulo de inclinação de, aproximadamente,  $7,5^\circ$  e velocidade de operação de 65 km/h. Este será detalhado no próximo capítulo.



Figura 4.3 – SCRIM



Figura 4.4 – Mu-meter

Existe ainda uma categoria de equipamentos que pode ser inserida dentro de uma das classificações citadas anteriormente. São os equipamentos com deslizamento fixo, que operam fixando-se uma parcela de bloqueamento das rodas para o registro do coeficiente de

atrito. Existe o Griptester, da Inglaterra, que trabalha com as rodas 15 % bloqueadas e atinge até 65 km/h.



Figura 4.5 - Griptester

Dentre os equipamentos portáteis existentes, o principal representante é o pêndulo britânico. Este equipamento consiste num pêndulo, cuja haste possui em sua extremidade uma sapata de borracha. Ao soltar-se a haste do pêndulo sobre o pavimento, a sapata desliza sobre o mesmo. A perda de energia decorrente desse movimento serve como medida de atrito, e é registrada numa escala graduada. É um dos dispositivos mais difundidos internacionalmente devido ao seu baixo custo e facilidade de operação.



Figura 4.6 – Pêndulo britânico

### 4.3 Correlação entre as medições do coeficiente de atrito

Os métodos e sistemas usados para medir textura e resistência à derrapagem das superfícies de pavimentos variam significativamente, conforme o país. Isso dificulta sobremaneira o intercâmbio de informações entre os países, no que diz respeito à comparação destes parâmetros. De acordo com Rio (1996), em 1995, o Comitê Técnico da PIARC (World Road Association) apresentou uma escala de referência internacional, visando a avaliação global da superfície de um pavimento. Esta escala é representada pelo IFI (Internacional Friction Index), que avalia o atrito e a textura da superfície. O IFI é representado por dois números situados entre parênteses e separados por uma vírgula, com o primeiro referindo-se ao atrito e o segundo à textura. O primeiro número é adimensional (F60) e o segundo é expresso em km/h (Sp). Ambos fornecem os parâmetros relativos para uma velocidade padrão de 60 km/h. O par de valores (F60, Sp) representa o IFI de um pavimento e por meio dele pode-se calcular o valor de atrito F(S), a qualquer velocidade de deslocamento (S) por meio da equação abaixo.

$$F(S) = F60 \times e^{\frac{(60-S)}{S_p}}$$

### 4.4 Método da Mancha-de-Areia

Um dos métodos mais utilizados para a medição da macro-textura é o Método da Mancha de Areia, que consiste em colocar sobre a superfície do pavimento um volume pré-determinado de areia fina e espalhá-la circularmente utilizando-se um disco especial. Então, com a medida da área da mancha de areia sobre o pavimento e o volume de areia utilizado, calcula-se uma profundidade média dos vazios preenchidos por areia, valor utilizado como medida de macro-textura superficial.

De acordo com a norma IAC 4302, o equipamento utilizado consiste em um cilindro metálico com volume interno de 24cm<sup>3</sup> e um espalhador tipo carimbo manual. A areia a ser utilizada deve possuir granulometria contida entre as peneiras #50 e #100, isto é, passando na #50 e sendo retida pela #100.

Um dos problemas da utilização do Método da Mancha de Areia em revestimentos asfálticos drenantes está na penetração excessiva dos grãos de areia nos poros vazios, o que leva à redução da área da mancha de areia e à maximização da medida de macro-textura. Na figura abaixo, apresenta-se um esquema simplificado do Método da Mancha de Areia.

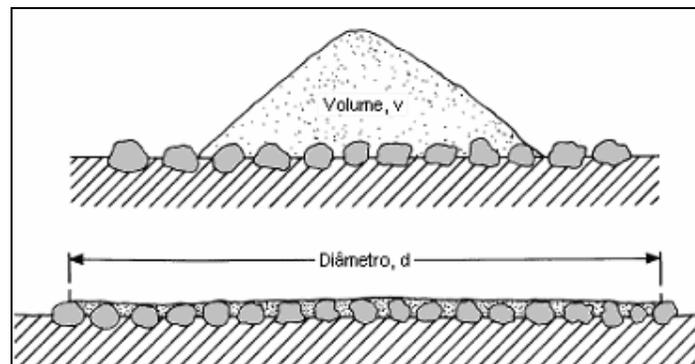


Figura 4.7 – Método da Mancha-de-Areia

Ainda de acordo com a norma IAC 4302, devem-se fazer no mínimo três medições de profundidade da textura do pavimento por ensaio nas áreas consideradas deterioradas. Uma profundidade média da textura (média das três medições) deve ser calculada para cada área. Um maior número de medições deve ser feito, sempre que óbvias deficiências da textura superficial do pavimento forem observadas.

## 5. MU-METER

### 5.1 Funcionamento do Mu-meter

De todos os aparelhos utilizados para aferir o coeficiente de atrito de uma pista de pouso, o mais utilizado em território nacional é o Mu-meter. O processo de medição do Mu-meter, além de ser simples e de boa precisão, utiliza uma programação de computador para auxiliar o operador em suas medições.

O Mu-meter é 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 gera uma força lateral, cujo momento em torno do ponto de articulação da roda atua para alinhar a mesma com a direção de avanço.



Figura 5.1 – Mu-meter pronto para a medição do atrito

O Mu-meter é um instrumento de teste de superfície de pista que infere um valor de coeficiente de atrito de frenagem a partir da medida da força lateral nos eixos de duas rodas,

chamadas *friction wheels (FW)*, instaladas num veículo de reboque. Em geral, as *FW* têm um alinhamento convergente em relação à direção longitudinal do reboque, com um ângulo de convergência de, aproximadamente,  $7,5^\circ$ , o que, de acordo com ESDU (2000), produz uma taxa de escorregamento aparente de, aproximadamente, 0,13. Uma terceira roda traseira, alinhada normalmente, mede a distância percorrida e estabiliza o movimento do reboque. A figura 5.2 esquematiza um Mu-meter.

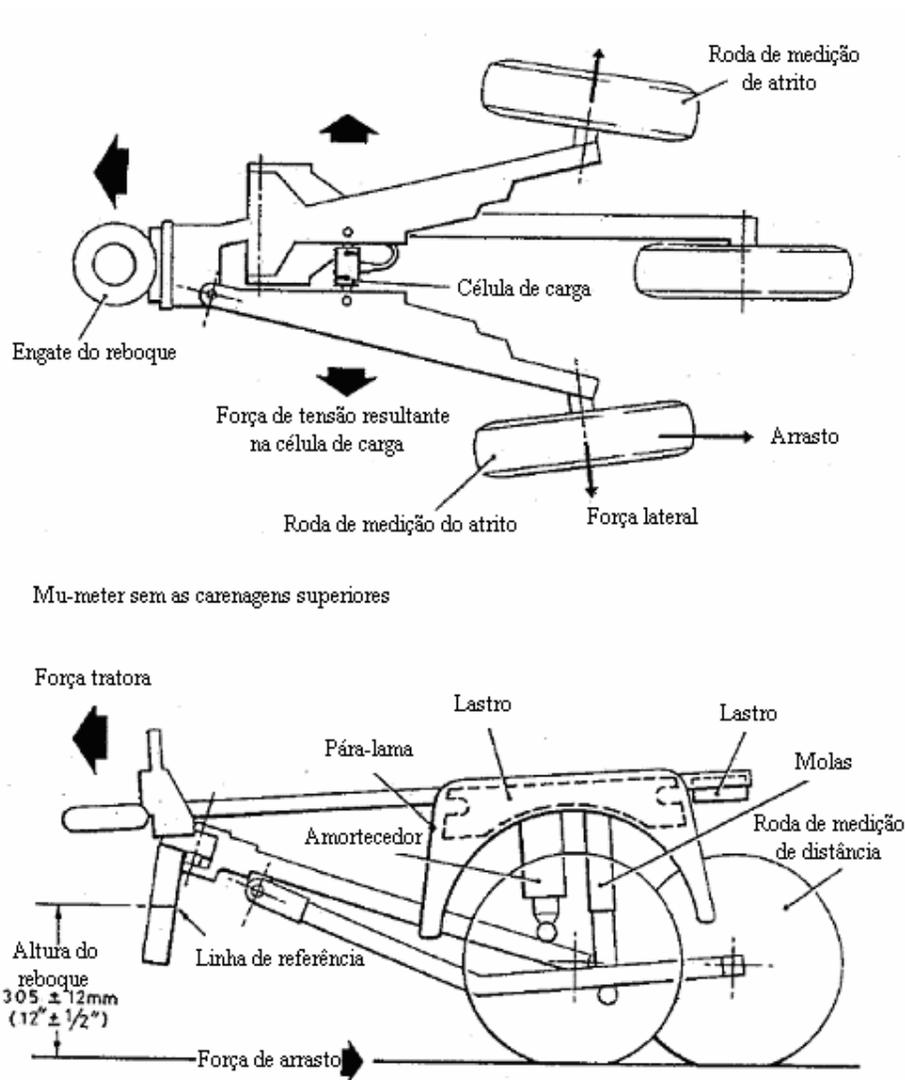


Figura 5.2 – Figura esquemática do Mu-meter

Quando um veículo reboca o Mu-meter para efetuar uma medição, o atrito gerado entre os pneus laterais e o pavimento força os membros laterais do chassi a se afastar, o que gera forças de tensão na célula de carga ligada aos dois braços do chassi. O sinal de força e o

sinal de distância percorrida medida são enviados para uma unidade de processamento. Nos modelos mais atuais, como o Mk-6 por exemplo, essa unidade de processamento pode ser conectada à um computador portátil, como um notebook, que pode acessar as informações em tempo real, de dentro do veículo que estiver rebocando o Mu-meter.

Um carregamento de 77,5 kgf é aplicado em cada *FW* através de um lastro colocado nos amortecedores. Os pneus de todas as três rodas têm dimensões 16 x 4 com 6 lonas, modelo RL2. Os pneus das *FW* são de desenho liso e possuem pressão de 10 lbf/in<sup>2</sup> enquanto o pneu traseiro, o qual mede a distância percorrida, tem desenho convencional e pressão de 30 lbf/in<sup>2</sup>. A velocidade de teste adotada é a de 40 mph, o que é equivalente a, aproximadamente, 65 km/h. Entretanto, outras velocidades poderão ser adotadas.

Para testes em pistas molhadas, existem duas formas de operar. Uma é utilizando o Mu-meter diretamente na pista molhada, porém esta não é muito recomendada pois não se tem nenhum controle da espessura da lâmina d'água. E a segunda maneira é utilizando um tanque de água (que fica localizado em cima da caminhonete que reboca o Mu-meter) e duas saídas d'água retangulares apontadas diretamente no caminho das *FW*. Nesta última, a profundidade efetiva da água é controlada diretamente pela vazão de água que sai pelos bocais.

## 5.2 Procedimentos de ensaio

Como o Mu-meter é o instrumento de medição de atrito utilizado no Aeroporto Santos Dumont, cabe aqui ressaltar também como é feita essa medição, para que, dessa forma, seja possível melhor compreender os resultados. Os procedimentos descritos a seguir foram baseados no *Check List de Operação*, produzido pela DIRENG, para auxiliar na operação do Mu-meter. Este pode ser consultado no anexo 2.

Inicialmente deve-se proceder todos os ajustes necessários relativos à calibração dos pneus e do “zero”, um botão localizado na caixa do condicionador de sinal (atrás do Mu-Meter), que deve ser ajustado até zerar o marcador do monitor “nível do olho” da cabine. Quando aquele estiver zerado, será emitido um som. Anota-se assim, os três dígitos mostrados acima do botão do “Zero Calibrate”.

Em seguida, calibra-se o próprio Mu-meter puxando-o pela prancha de teste (“PULL – MU-METER ACROSS TEST BOARD”) de forma mais uniforme possível durante

aproximadamente nove segundos, não fazendo paradas durante o movimento. Durante o percurso, o processador emite um sinal sonoro.



Figura 5.3 – Prancha padrão de teste

Se o procedimento foi realizado corretamente, será impresso um gráfico com a leitura do atrito da prancha. O valor padrão é 0.77, no entanto, uma leitura de 0.74 a 0.79 mantida durante 2 a 5 seg, está dentro do aceitável na calibração.

Entretanto, se o procedimento foi realizado de forma incorreta, deve-se ajustar o botão de calibração do Mu-Meter na caixa do controlador de sinal e repetir o procedimento anterior até se conseguir um resultado aceitável.

Os próximos passos são o teste e a calibração do sistema de aspersão d'água. Deve-se verificar os níveis de óleo e gasolina do motor da bomba, e se o tanque d'água está cheio.

Feito esses procedimentos, o Mu-meter está pronto para realizar as medições.

As operações de medida de atrito são precedidas de uma inspeção visual do pavimento a fim de identificar eventuais deficiências que possam influenciar no resultado da medição, tal como deformações, que possam gerar empoçamentos com profundidades superiores àquela utilizada nos ensaios (1mm de lâmina d'água), impossibilitando uma real avaliação do potencial de aquaplanagem. Nesse caso, se for observada uma profundidade superior a 3mm ao longo de uma distância longitudinal de 152m ou mais, a área deve ter sua declividade transversal corrigida.

As medidas de atrito são realizadas a 65km/h, e tem seu início a partir de 152m da cabeceira, de modo a permitir o registro de dados na velocidade padrão. O término do ensaio também ocorre a 152m do final da pista por medida de segurança.

Normalmente, a realização dessas medidas são feitas somente na cabeceira que corresponde a grande maioria dos pousos, a menos que ambas as cabeceiras sejam usadas para pouso com frequência ou, que as condições superficiais sejam visivelmente diferentes em cada cabeceira.

As medições são realizadas a 3m do eixo (no caso de aeronaves *narrow body*) e a 6m do eixo (no caso de aeronaves *wide body*).

Os valores de atrito obtidos com o Mu-meter são usados como diretriz para avaliar a deterioração do atrito da superfície de pavimentos de pistas, bem como para identificar ações corretivas adequadas para a realização de operações aéreas seguras. A tabela a seguir mostra a classificação do nível de atrito pela FAA:

Tabela 5.1 – Valores de referência de coeficientes de atrito medidos com o Mu-meter

Mu-meter	65 km/h			95 km/h		
	Mínimo	Manutenção / Planejamento	Projeto Novo / Construção	Mínimo	Manutenção / Planejamento	Projeto novo / Construção
	<b>0,42</b>	<b>0,52</b>	<b>0,72</b>	<b>0,26</b>	<b>0,38</b>	<b>0,66</b>

Entretanto, no caso do Aeroporto Santos Dumont, o coeficiente de atrito mínimo é de 0,61. Esse mínimo é maior que o padrão devido à preocupação do aeroporto com o atrito, já que comprimento de pista é um fator crítico para a operação de determinadas aeronaves.

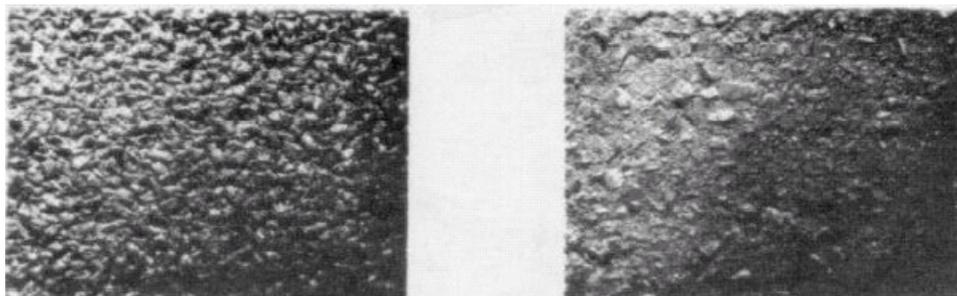
## 6. CAMADA POROSA DE ATRITO (CPA)

### 6.1 Conceitos

O desempenho de um pavimento é fortemente condicionado pelas características que suas camadas exibem. Essas características dependem dos materiais utilizados (solos, agregados, finos e ligantes), da dosagem da mistura betuminosa, de suas condições de compactação e do processo construtivo. No caso de falhas, principalmente no que diz respeito às camadas asfálticas e cimentadas, por serem de alto custo e de uma grande importância, o insucesso no desempenho do pavimento é marcante. Com as novas exigências e limitações impostas na construção e manutenção de pavimentos rodoviários e aeroviários, é imperativo que se busquem novas combinações de materiais que possam desenvolver boa performance e custo relativamente baixo.

Desde o início da década passada, vem sendo difundida a execução de camadas porosas em capas de rolamento asfáltico, principalmente na Europa e nos Estados Unidos, com o objetivo de melhorar as condições de segurança de tráfego em pistas de aeroportos e pavimentação rodoviária e urbana.

A Camada Porosa de Atrito (CPA) é um CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) feito com um elevado volume de vazios de ar (20–25%), de modo a que as águas das chuvas se infiltrem na camada e percolem através dela até sair pelas laterais. Com isso, garante um elevado coeficiente de atrito, mesmo sob chuvas intensas. No caso de rodovias evitam a névoa que os veículos provocam com sua passagem e que prejudica a visibilidade daqueles que vem logo atrás. A figura 6.1 mostra uma comparação entre uma CPA e um asfalto denso típico.



Camada porosa de atrito

Asfalto denso típico

Figura 6.1 – Texturas típicas

A Figura 6.2 apresenta de forma ilustrativa o princípio de funcionamento dos pavimentos drenantes utilizados em pistas de aeroportos e em cidades. Nas rodovias, o dispositivo de drenagem é geralmente substituído pelo acostamento.

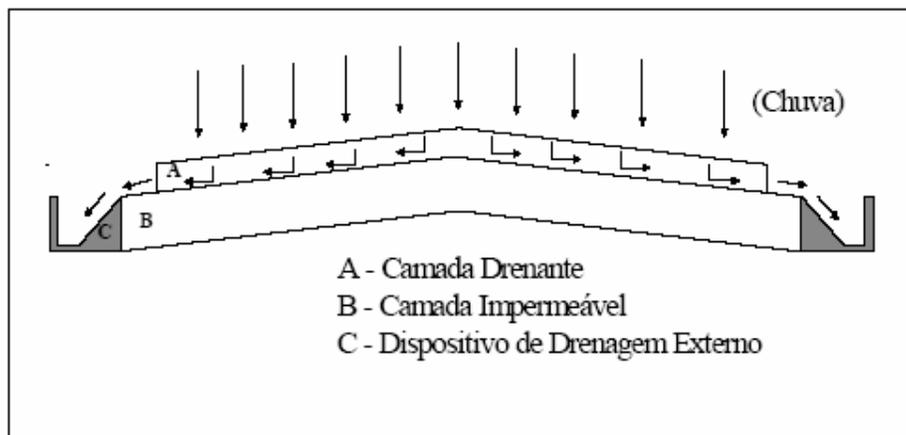


Figura 6.2 – Esquema de funcionamento de uma Camada Porosa de Atrito



Figura 6.3 – Comparação da capacidade de dreno dos dois tipos de asfalto

Já a figura 6.3 mostra uma pista de teste na qual percebe-se claramente a diferença de permeabilidade entre uma Camada Porosa de Atrito e um Asfalto Padrão.

Estes propósitos são obtidos pelo fato de sua macro-textura ser aberta, o que melhora o contato entre os pneus e o pavimento, mesmo debaixo de condições de tráfego pesado e tempo chuvoso. A função do material depende dos poros abertos criados, permanecendo aberto de forma que água de superfície esco depressa e permita um contato contínuo entre os pneus e a superfície. O desempenho de tais misturas é influenciado pela composição do agregado e do asfalto, pela granulometria do agregado, e por práticas de construção como

compactação, densidades etc. Não há nenhuma dúvida que uma camada porosa corretamente colocada cumpre suas metas. Porém, há evidências de que em pouco tempo muitos poros dessa camada estejam preenchidos com detritos fazendo com que ocorra a perda de suas características perante o tráfego de aviões e, no caso de rodovias, tráfego de veículos.

A ação dos pneus das aeronaves provoca uma redução nas características drenantes em virtude do acúmulo de borracha nos poros da camada. Nestes casos, a remoção da borracha deve ser uma atividade de manutenção cuja frequência será determinada de acordo com inspeções visuais periódicas e com a experiência acumulada em cada aeroporto.

Essa remoção é realizada por um equipamento composto por um caminhão com um tanque de capacidade de 8.000 L de água, uma bomba d'água de alta pressão, mangueira de água sob alta pressão e um carro de mão com bicos que injetam água sob pressão no pavimento.

Nessas operações utiliza-se um tipo de detergente diluído, espalhado com uma vassoura mecânica, para que a borracha impregnada na superfície comece a soltar, evitando que a pressão d'água seja muito alta, o que danificaria o pavimento. Em seguida aplica-se água sob pressão.

É importante ressaltar que essa remoção não é completa, entretanto, conduz a valores aceitáveis do coeficiente de atrito.

## **6.2 Redução dos ruídos**

Segundo Teixeira *et al* (2001), o ruído proveniente do contato pneu-pavimento é uma combinação de processos físicos que podem ser divididos em três categorias:

- Impactos e choques;
- Processos aerodinâmicos;
- Efeitos de adesão.

O primeiro grupo compreende o ruído resultante do contato entre a banda de rodagem do pneu e a superfície do pavimento durante a movimentação do veículo e envolve os efeitos da compressão do pneu além das vibrações decorrentes do impacto pneu/pavimento. O segundo grupo engloba os fenômenos causados pelo fluxo de ar entre os sulcos do pneu e o pavimento. Dentre estes, pode-se destacar o bombeamento do ar, considerado um dos

principais responsáveis pela geração dos ruídos de contato pneu/pavimento. Este fenômeno ocorre durante o rolamento do pneu, onde o ar fica momentaneamente preso entre os sulcos do pneu e o pavimento, sendo subitamente liberado em seguida, causando um pequeno estampido. O último grupo compreende o ruído gerado pela fricção e pelo deslizamento entre o pneu e a pista, sendo regido pela textura do pavimento.

Os revestimentos asfálticos drenantes, embora não tenham sido desenvolvidos com a finalidade de reduzirem ruídos, mostram-se eficientes no processo de absorção acústica. De acordo com Meurer Filho (2001), 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 a redução do bombeamento do ar, obtém-se a diminuição dos ruídos, cuja ordem de grandeza varia com o tipo de asfalto poroso utilizado e depende de diversos fatores como o tamanho dos agregados, a espessura da camada e o teor de vazios

A figura 6.4, apresentada por Teixeira *et al* (2001), apresenta valores de ruídos provenientes do tráfego de veículos leves e pesados, realizado em rodovias, para diversos tipos de pavimentos. Pela análise da figura, nos revestimentos porosos, a emissão de ruídos é inferior aos demais tipos de pavimentos, tanto para veículos leves como pesados.

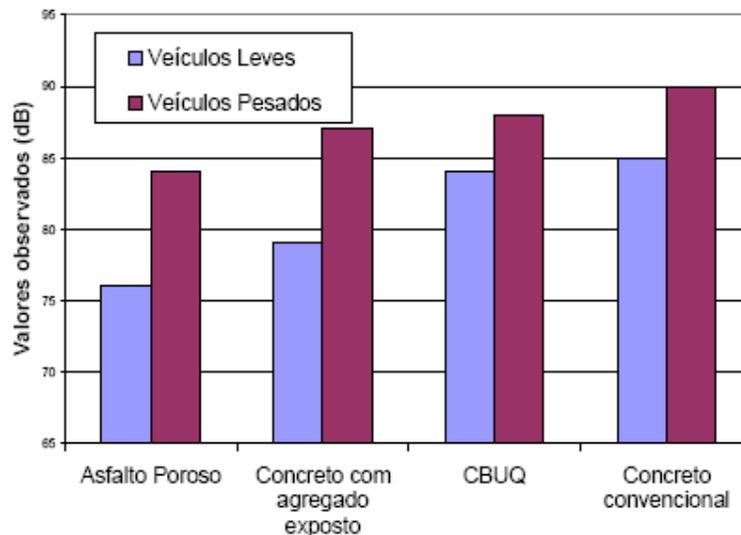


Figura 6.4 – Influência dos diversos tipos de pavimento no nível de ruído

Segundo Fonseca (1998), estudos realizados nas rodovias da Espanha mostraram que, para velocidades abaixo de 80 km/h, a redução acústica é muito insignificante. Para velocidades entre 110 e 120 km/h, a redução dos níveis de ruído pode chegar a até 6 dB (A),

onde o “A” significa que o nível de ruído é reconhecido por um microfone que filtra o ruído e o ajusta conforme o ouvido humano.

### **6.3 Mecanismos de degradação**

Segundo o Caltrans Maintenance Technical Advisory Guide (2003), as Camadas Porosas de Atrito podem apresentar diversos tipos de problemas que podem, em alguns casos, serem percebidos por inspeção visual ou, em outros, por equipamentos apropriados. Os principais são:

- Deformação permanente devido a tráfego pesado e temperaturas altas;
- Falhas devido ao cisalhamento em áreas de pressões elevadas;
- Trincas por fadiga devido à repetição das cargas de tráfego;
- Trincas de reflexão devido às trincas existentes no pavimento que serviu de base para a Camada Porosa de Atrito;
- Desgaste devido a uma série de fatores, inclusive oxidação e endurecimento do ligante, danos provocado pela água, baixo teor de ligante e baixa energia de compactação;
- Desagregação causada pela incompatibilidade entre o ligante e o agregado;
- Deslocamento devido à uma compactação e/ou imprimação ruim;
- Entupimento dos vazios de ar acarretando na perda de permeabilidade;
- Presença de manchas secas devido ao escoamento do ligante durante o transporte e a aplicação;
- Áreas isoladas de desgaste do ligante devido aos derramamentos de combustível e óleo.

Muitos desses problemas estão relacionados com dois componentes extremamente importantes da CPA: os agregados e os ligantes asfálticos.

A importância dos agregados está relacionado à vários fatores. Entre eles, podemos citar: sua granulometria, que deve seguir um padrão rigoroso; a resistência à abrasão; sua forma, que influenciará no volume de vazios; e a sua adesividade com o ligante, que dará estabilidade à mistura.

Já em relação aos ligantes asfálticos, a presença dos elastômeros é de fundamental importância, pois é ele que dará ao ligante uma maior elasticidade, flexibilidade, coesão, aderência, adesividade e durabilidade de misturas betuminosas.

As recomendações para o uso do elastômeros são justificadas pelos seguintes motivos:

- Ausência de finos, necessitando de maior coesão entre os grãos do agregado, influenciando de forma direta na estabilidade da mistura;
- Grande volume de vazios, necessitando que as películas de asfalto sejam mais encorpadas para evitar uma oxidação prematura;
- Grande circulação interna de água, necessitando de maior adesividade entre o cimento asfáltico de petróleo (CAP) e o agregado, além de maior aderência entre as camadas; e
- A instabilidade devido à elevada fluência, necessitando de maior resistência às variações térmicas das películas espessas de CAP, para, assim, evitar deformações.

Portanto, a garantia de um bom comportamento da Camada Porosa de Atrito e de sua durabilidade está relacionada com o cumprimento de certos requisitos técnicos básicos, que fornecem as diretrizes a serem seguidas e que, de forma alguma, devem ser suprimidos.

## **6.4 Processo construtivo**

A CPA é usada com sucesso em superfícies da pista de decolagem em vários aeroportos mundiais. Entretanto, seu sucesso depende de um processo construtivo correto.

Por não possuir função estrutural, deve ser aplicada sobre pavimentos de concreto asfáltico em perfeitas condições, isto é, de alta estabilidade, com boa declividade e isento de contaminações, construídos ou restaurados especialmente para receber a CPA. Entretanto, não deve ser construída nos primeiros 200 metros da cada cabeceira.

Todas as recomendações relativas às propriedades exigidas dos materiais, equipamentos, execução etc, encontram-se no documento confeccionado pela DIRENG, *Especificações Técnicas para Camada Porosa de Atrito*, podendo ser consultado no Anexo 3. Porém, algumas orientações devem ser frisadas. São elas:

- A espessura da camada compactada deverá ser de 20 mm;
- O teor de vazios deverá estar entre 20 e 25 %;

- A temperatura de aplicação será determinada pelo tipo de ligante, em função da relação temperatura – viscosidade, não devendo a mistura ter temperatura superior a 177 °C;
- A superfície existente deverá estar em perfeitas condições e limpa, para em seguida receber a pintura de ligação, garantindo, assim, a perfeita aderência da CPA;
- Deverá ser construído trecho experimental utilizando o mesmo material, equipamento e condições que será realizado o projeto, devendo seu resultado ser satisfatório, de acordo com as especificações.

Um outro aspecto a ser destacado é que a Camada Porosa de Atrito deve ser feita com asfalto-polímero, em vista da baixa resistência ao trincamento por fadiga que um elevado teor de vazios de ar provoca, bem como devido a oxidação do ligante mais acelerada, devido aos raios solares, ao vapor d'água e ao maior fornecimento de oxigênio.

Contudo, a vida útil de uma CPA é menor do que a de um pavimento convencional, já que, mesmo usando-se o asfalto-polímero, ainda ocorre uma oxidação do ligante mais acelerada que o asfalto padrão.

## **6.5 Vantagens e desvantagens da Camada Porosa de Atrito**

### **6.5.1 Vantagens**

Segundo Porto (1999), de acordo com as propriedades dos concretos asfálticos drenantes analisadas anteriormente, pode-se resumir a seguintes vantagens da utilização deste tipo de revestimento:

- a) Redução dos riscos de hidroplanagem;
- b) No caso de rodovias, melhoria da visibilidade, devido à redução do “spray” (projeção de água) formado atrás dos veículos nos pavimentos molhados;
- c) Menor reflexão luminosa, eliminando-se o fenômeno de espelhamento e visualizando-se melhor os dispositivos de sinalização horizontal no período noturno;
- d) Redução dos níveis de ruídos provenientes do tráfego.

Todos estas características dos concretos asfálticos drenantes atuando em conjunto proporcionam um aumento considerável na segurança viária e aeroviária, reduzindo, então, o número de acidentes.

Diversos países fazem acompanhamento do número de acidentes ocorridos em suas rodovias antes e depois da aplicação de concretos asfálticos drenantes.

A figura 6.5, apresentada por Kamyra *et al* (1998), apresenta o resultado de um estudo realizado no Japão para avaliação dos acidentes de trânsito antes e depois da aplicação de concretos asfálticos drenantes em determinadas rodovias. A redução média foi em torno de 75%.

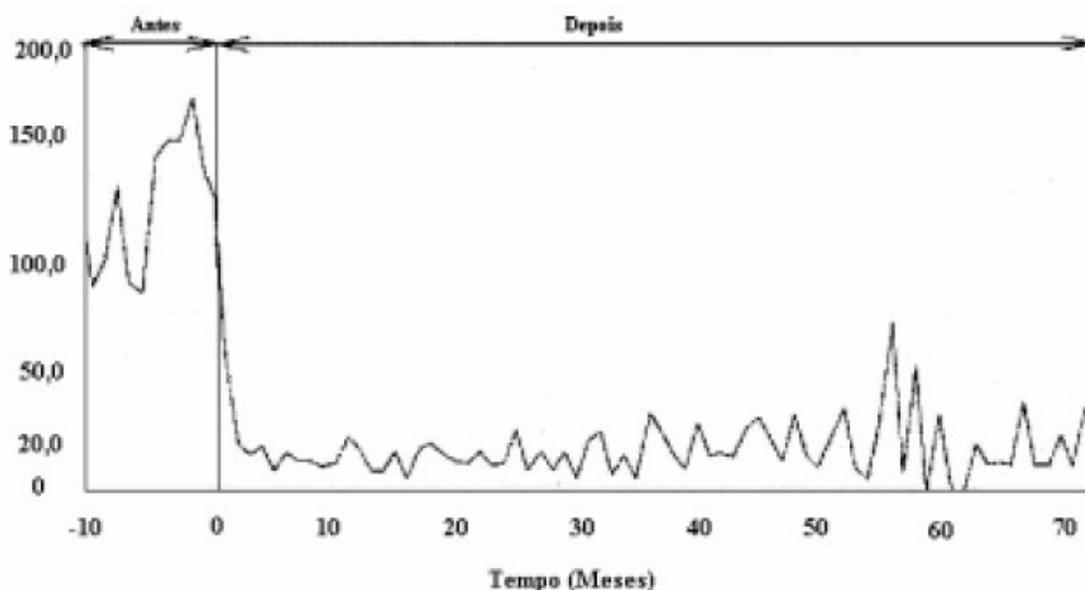


Figura 6.5 – Comparativo de acidentes de trânsito no Japão antes e depois da CPA

### 6.5.2 Desvantagens

Apesar de apresentar diversas vantagens, os concretos asfálticos drenantes também apresentam algumas desvantagens que devem ser avaliadas, caso se decida pela utilização deste tipo de revestimento.

Um dos problemas mais frequentes encontrados em pavimentos drenantes é a colmatção dos poros por contaminantes, especialmente borracha dos pneus, ao longo da vida útil, o que reduz gradativamente as funções de drenagem e acústicas do pavimento.

Para que as propriedades drenantes e acústicas dos pavimentos drenantes sejam mantidas ao longo do tempo, deve-se fazer uma manutenção preventiva, com a limpeza periódica dos mesmos.

Os pavimentos drenantes são suscetíveis à desagregação pelo esforço de cisalhamento, devido a sua macro-textura ser aberta, o que dificulta as forças de coesão da mistura.

Outro aspecto importante é o custo deste tipo de pavimento. Devido à utilização de asfalto modificado, o custo da mistura drenante é superior ao de uma mistura densa convencional. Enquanto o preço do asfalto comum, segundo Stormwater (2004), varia, aproximadamente, entre R\$ 15,60 e R\$ 31,20 por m<sup>2</sup>, a CPA custa por volta de R\$ 62,40 e R\$ 93,60 por m<sup>2</sup>.

## **6.6 Experiência em rodovias americanas**

A Camada Porosa de Atrito (CPA) é usada desde 1950 nos Estados Unidos para melhorar a resistência de atrito de pavimentos asfálticos. Porém, segundo Kandhal *et al* (1998), uma experiência realizada pela National Center for Asphalt Technology (NCAT) com várias agências de transporte em vários estados americanos que utilizam este tipo de mistura, conduziu a resultados bem variados. Enquanto muitas agências informaram bom desempenho, muitas outras deixaram de usar a CPA devido a desempenhos ruins. Este estudo apresenta os resultados de uma pesquisa que as agências de transportes estatais dos E.U.A. realizaram para determinar onde as CPA's foram usadas, por que elas são usadas em alguns lugares e não em outros, tipos de mistura e prática de construção, a história de desempenho da CPA, e problemas que encontraram. A pesquisa mostra que melhorias significantes têm sido observadas no desempenho da Camada Porosa de Atrito desde o início de sua utilização nos anos cinquenta. Estas melhorias foram alcançadas com ajuda de uma boa prática de construção e do melhor desenvolvimento da mistura.

Embora a experiência das agências de transportes americanas com a CPA tenham sido bem variada, metade das agências envolvidas neste estudo indicaram uma boa experiência com a CPA. Segundo Kandhal *et al* (1998), mais de 70 % das agências que usam a CPA informaram uma vida de serviço de oito ou mais anos, como mostra a figura 6.6.

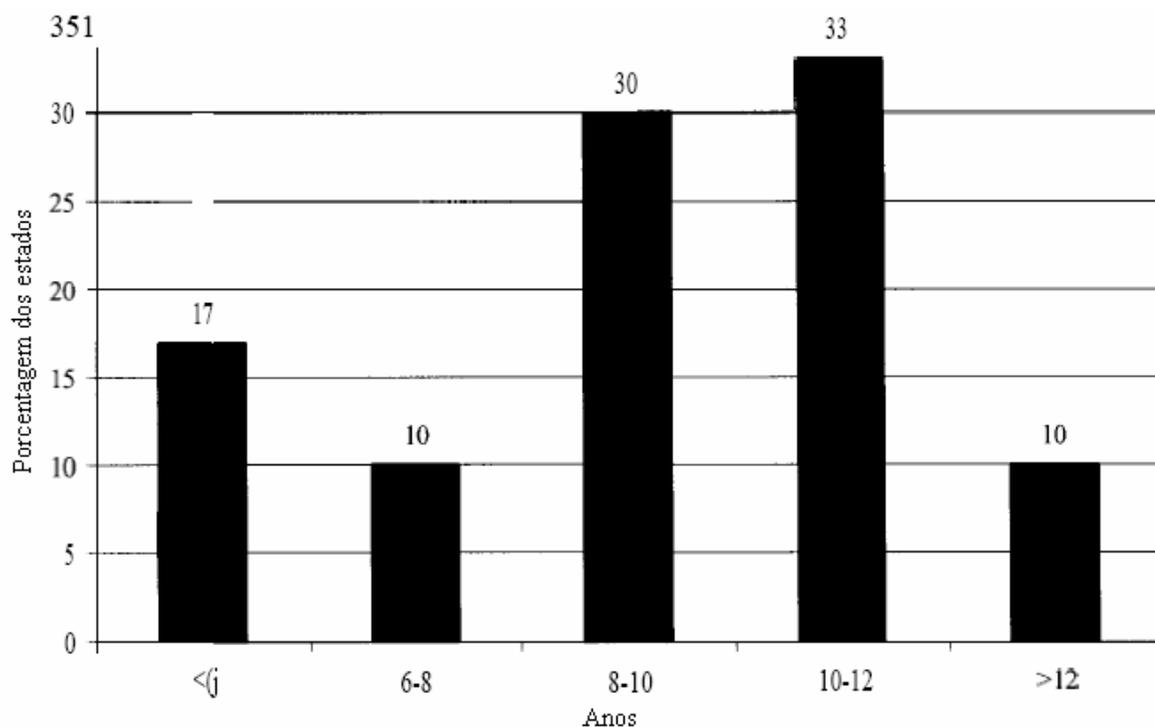


Figura 6.6 – Estimativa média da vida de serviço de uma CPA

Já em relação ao desempenho em termos de durabilidade e de atrito superficial, a grande maioria também retratou excelentes resultados como mostrado nas figuras 6.7 e 6.8.

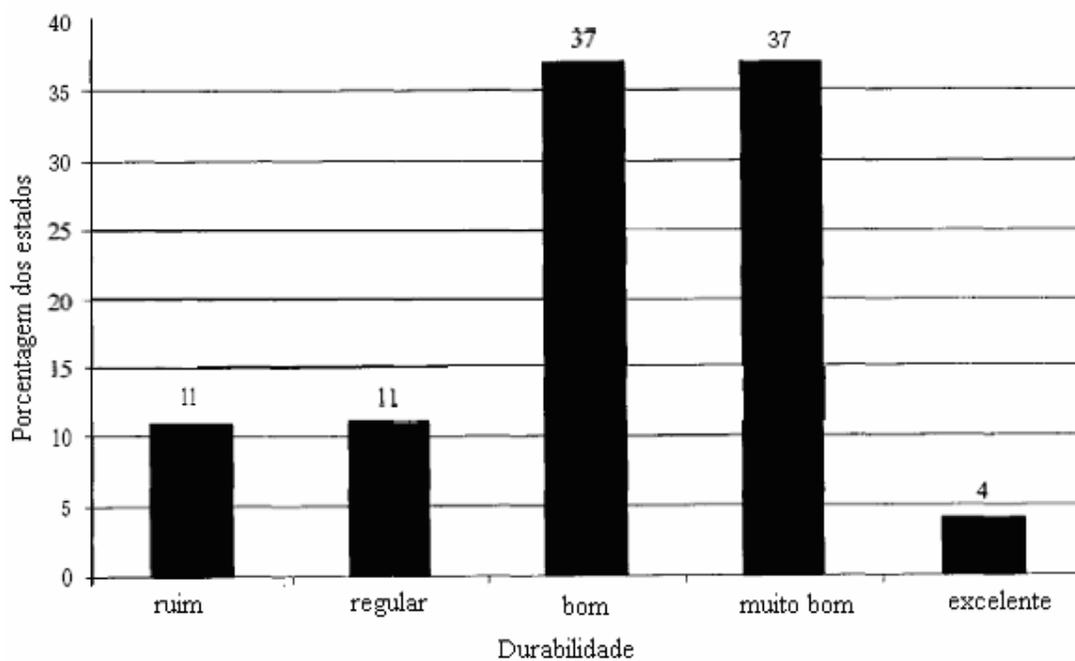


Figura 6.7 – Desempenho da CPA em termos de durabilidade

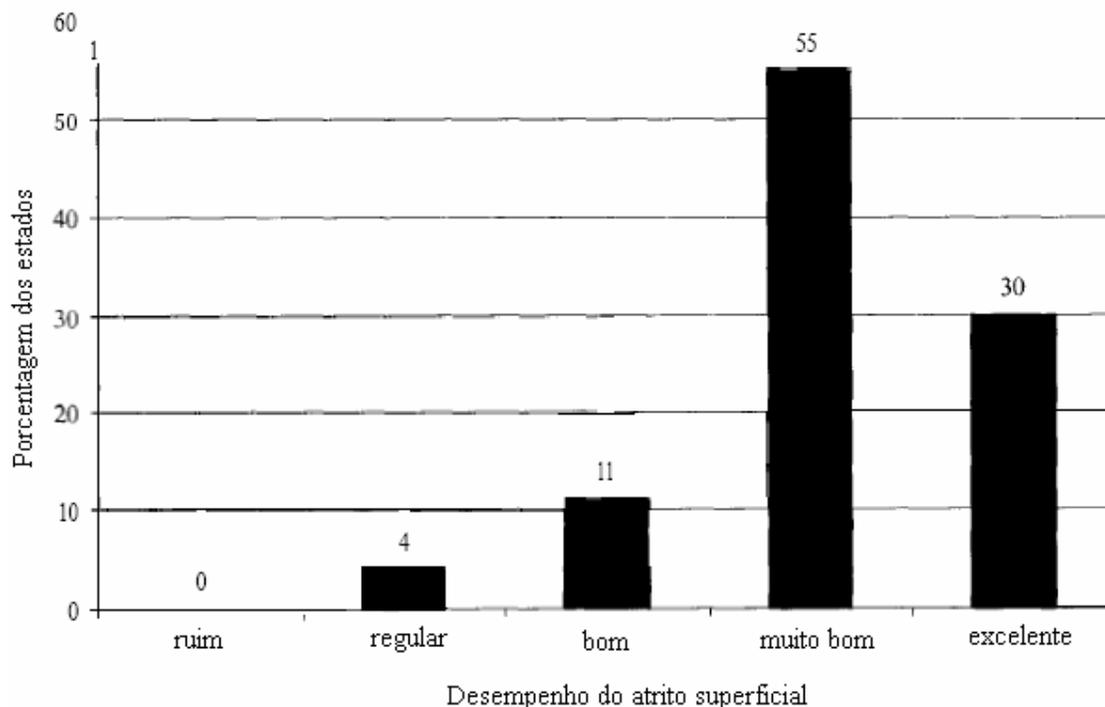


Figura 6.8 – Desempenho da CPA em termos de atrito superficial

Aproximadamente 80 % das agências que usam CPA possuem especificações padrões para desenvolvimento e construção. A grande maioria delas relatou na pesquisa ter uma boa experiência com o uso do ligante asfáltico modificado com polímero. Além disto, as granulometrias dos agregados usados pelas agências de transporte que tiveram um bom resultado eram uma pouco maior do que as granulometrias usadas no início e as usadas pelas agências que tiveram experiência ruim com CPA.

Dessa forma, pode-se perceber realmente que um bom desenvolvimento e uma boa prática de construção são as chaves para uma melhora no desempenho das misturas de CPA's.

## **7. COEFICIENTE DE ATRITO NO AEROPORTO SANTOS DUMONT**

### **7.1 Histórico de resultados**

Como já foi dito em capítulos anteriores, o correto acompanhamento do nível de atrito no Aeroporto Santos Dumont é de fundamental importância para a segurança das aeronaves que nele operam. Devido à sua pista curta, essa condição de atrito deve ser mantida em nível mais elevado que em outros aeroportos.

Os dados apresentados no Anexo 1 dizem respeito às medições de atrito realizados pela DIRENG no período entre 1997 e 2003, totalizando 28 medições.

Para a realização dessas medições, utilizou-se o equipamento Mu-meter Mk-4, para o qual, o valor mínimo adotado do coeficiente de atrito é de 0,61.

As tabelas e gráficos a seguir foram obtidos através dessas medições.

Para que não haja nenhum engano na interpretação dos resultados, padronizou-se que os três trechos nos quais foram divididos a pista principal 20L/02R, iniciam a partir da cabeceira 20L, que é a principal para pousos e decolagens, ou seja, o 1º terço diz respeito à cabeceira 20L, o 2º terço ao centro da pista e o 3º terço à cabeceira 02R, como mostra a figura 7.1.

Dessa forma, quando se referir ao lado esquerdo do eixo da pista, significa que é o lado da Bahia de Guanabara, ao passo que, quando se referir ao lado direito da pista, trata-se do lado interno do aeroporto, isto é, o lado da pista auxiliar e dos pátios.

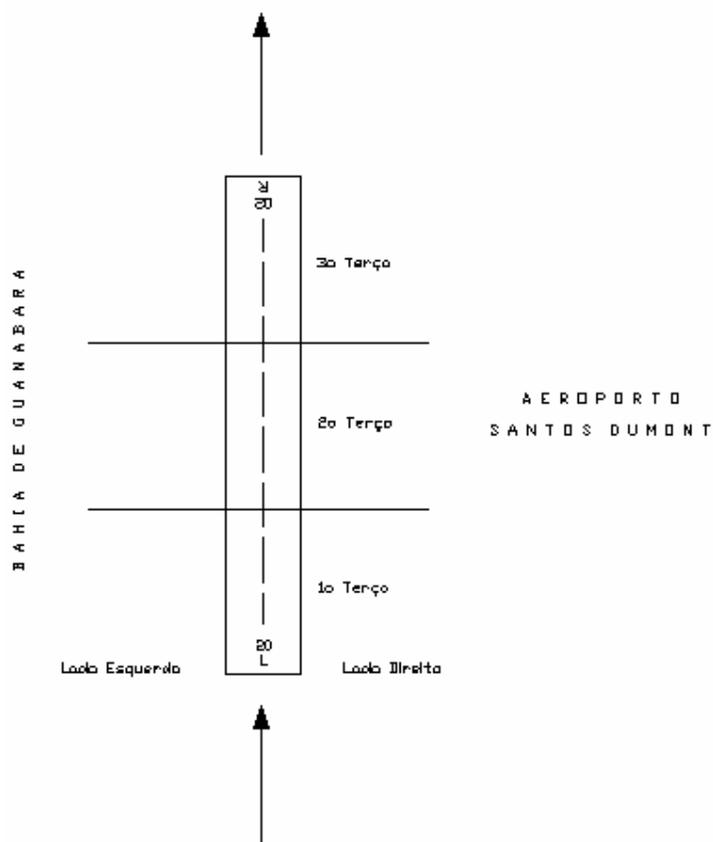


Figura 7.1 – Esquema da pista 20L/02R do Santos Dumont

A tabela 7.1 mostra os valores médios dos coeficientes de atrito em cada trecho de 400 m da pista principal, ou seja, os valores médios do 1º, 2º e 3º terços de cada uma das 28 medições.

Tabela 7.1 – Valores médios de cada trecho de 400 m.

Data das medições	Valores médios de cada trecho de todas as 28 medições					
	3m LE			3m LD		
	1º terço	2º terço	3º terço	1º terço	2º terço	3º terço
31/7/1997	0,68	0,72	0,69	0,69	0,73	0,70
15/10/1997	0,70	0,73	0,70	0,66	0,72	0,72
7/5/1998	0,65	0,63	0,64	0,64	0,64	0,63
29/6/1998	0,67	0,66	0,67	0,64	0,65	0,66
20/8/1998	0,64	0,68	0,66	0,64	0,68	0,68
26/11/1998	0,66	0,69	0,66	0,63	0,70	0,67
8/1/1999	0,63	0,63	0,62	0,60	0,64	0,63
10/3/1999	0,62	0,65	0,63	0,61	0,66	0,65
6/10/1999	0,70	0,69	0,70	0,69	0,70	0,70
21/12/1999	0,69	0,68	0,66	0,66	0,68	0,69
22/2/2000	0,69	0,69	0,67	0,65	0,67	0,67
16/6/2000	0,68	0,75	0,74	0,74	0,74	0,75
14/2/2001	0,62	0,63	0,61	0,60	0,60	0,64
15/3/2001	0,68	0,70	0,66	0,65	0,69	0,69
30/5/2001	0,59	0,61	0,64	0,56	0,58	0,60
5/7/2001	0,64	0,65	0,64	0,62	0,64	0,66
18/10/2001	0,64	0,65	0,61	0,61	0,64	0,66
18/12/2001	0,63	0,62	0,61	0,62	0,64	0,64
6/3/2002	0,65	0,69	0,69	0,64	0,68	0,65
6/5/2002	0,60	0,63	0,67	0,61	0,63	0,63
10/7/2002	0,59	0,58	0,59	0,60	0,59	0,60
9/8/2002	0,73	0,65	0,73	0,67	0,69	0,67
16/8/2002	0,61	0,60	0,60	0,60	0,59	0,60
21/10/2002	0,58	0,57	0,57	0,60	0,63	0,63
19/12/2002	0,55	0,60	0,62	0,58	0,61	0,61
29/3/2003	0,61	0,63	0,64	0,66	0,67	0,67
17/7/2003	0,63	0,69	0,67	0,65	0,69	0,67
24/9/2003	0,62	0,64	0,63	0,63	0,64	0,62

Os gráficos a seguir sintetizam de forma um pouco mais clara essas médias comparando-as com o valor mínimo aceitável de atrito. Traçou-se, também, uma reta média.

É importante registrar que os resultados do dia 09/08/02 foram suprimidos em virtude de erros ocorridos durante a medição, resultando em valores muito altos. A sua retirada não trouxe prejuízo à massa de dados já que foi realizada uma outra medição 7 dias depois.

Os gráficos das figuras 7.1 e 7.2 se referem às médias das medições relativas aos primeiros 400 metros da cabeceira 20L, sendo o primeiro a 3m do lado esquerdo e o segundo a 3m do lado direito.

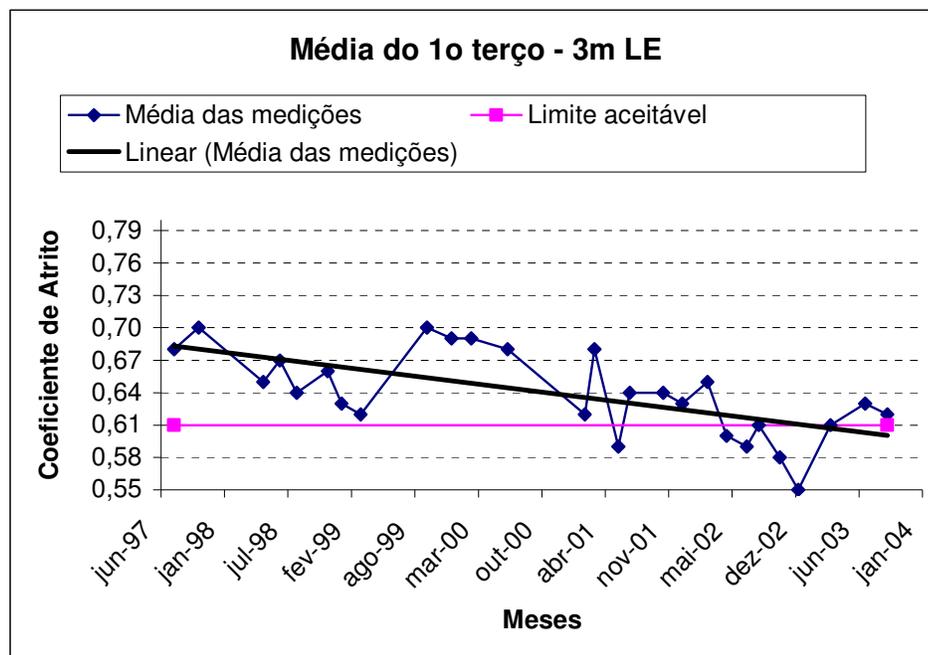


Figura 7.1 – Gráfico do coeficiente de atrito do 1º terço

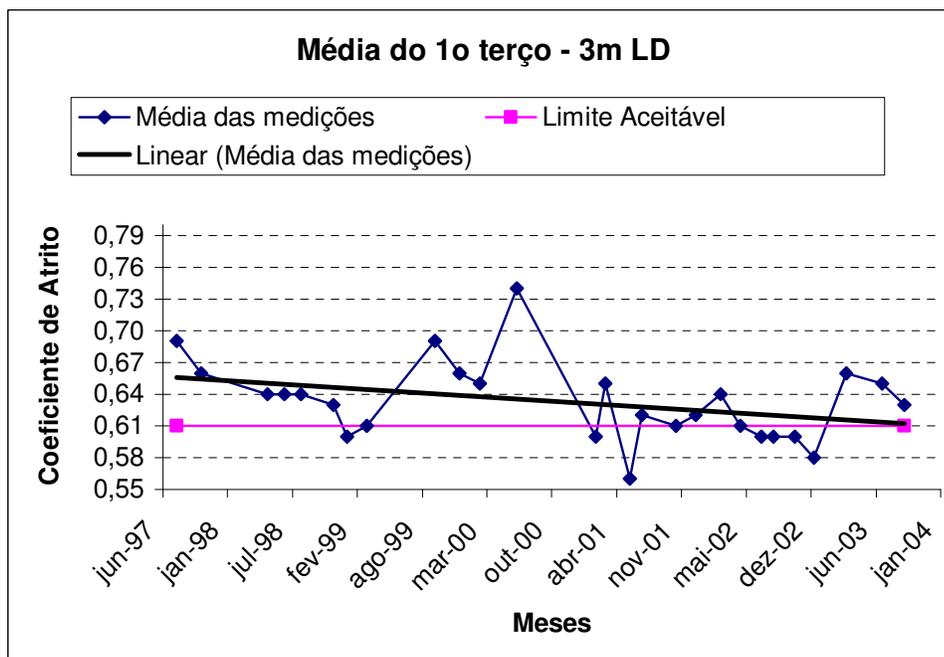


Figura 7.2 – Gráfico do coeficiente de atrito do 1º terço

Os gráficos das figuras 7.3 e 7.4 mostram as médias dos 400m aos 800m, isto é, a parte intermediária da pista.

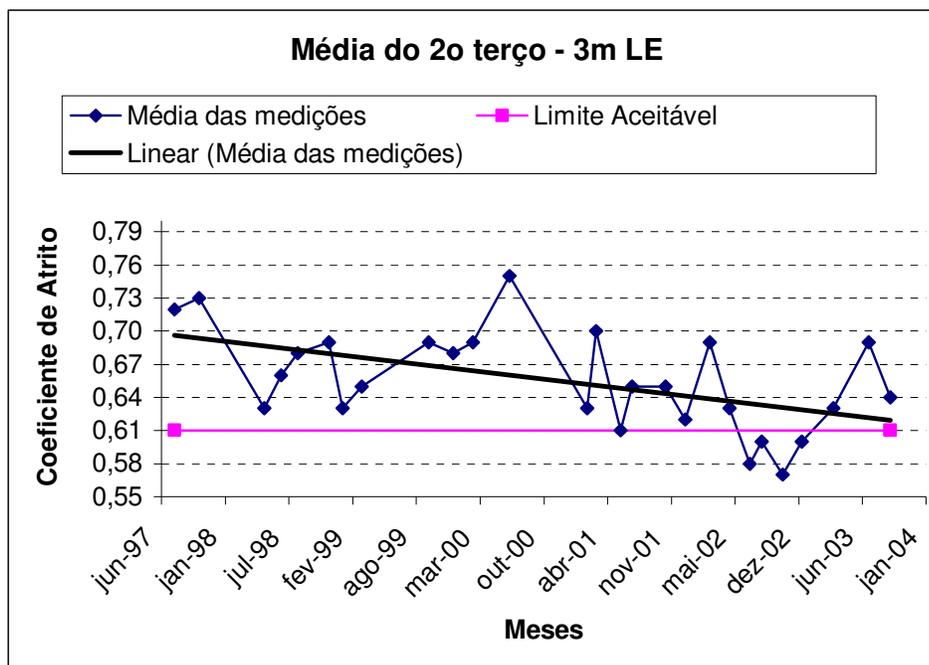


Figura 7.3 – Gráfico do coeficiente de atrito do 2º terço

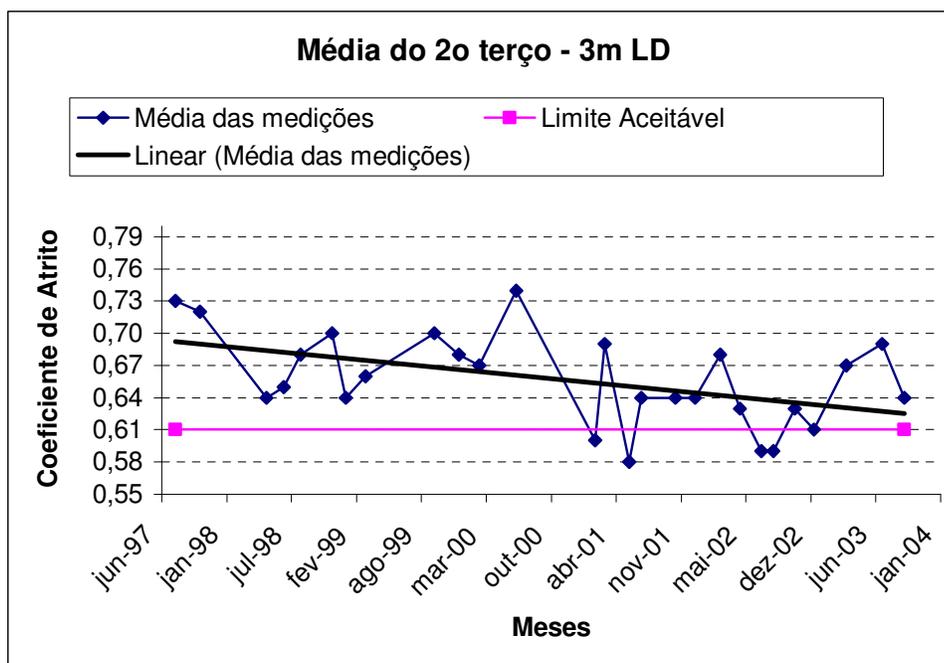


Figura 7.4 – Gráfico do coeficiente de atrito do 2º terço

Por último os gráficos das figuras 7.5 e 7.6, mostram as médias do coeficiente de atrito da parte final da pista, isto é, dos 800m até os 1200m a partir da cabeceira 20L.

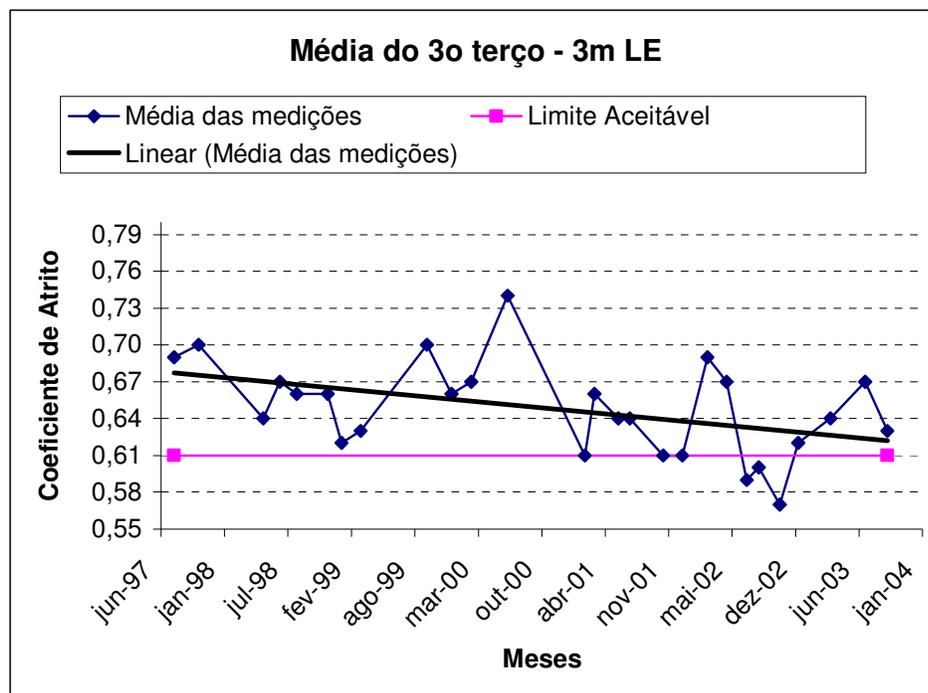


Figura 7.5 – Gráfico do coeficiente de atrito do 3º terço

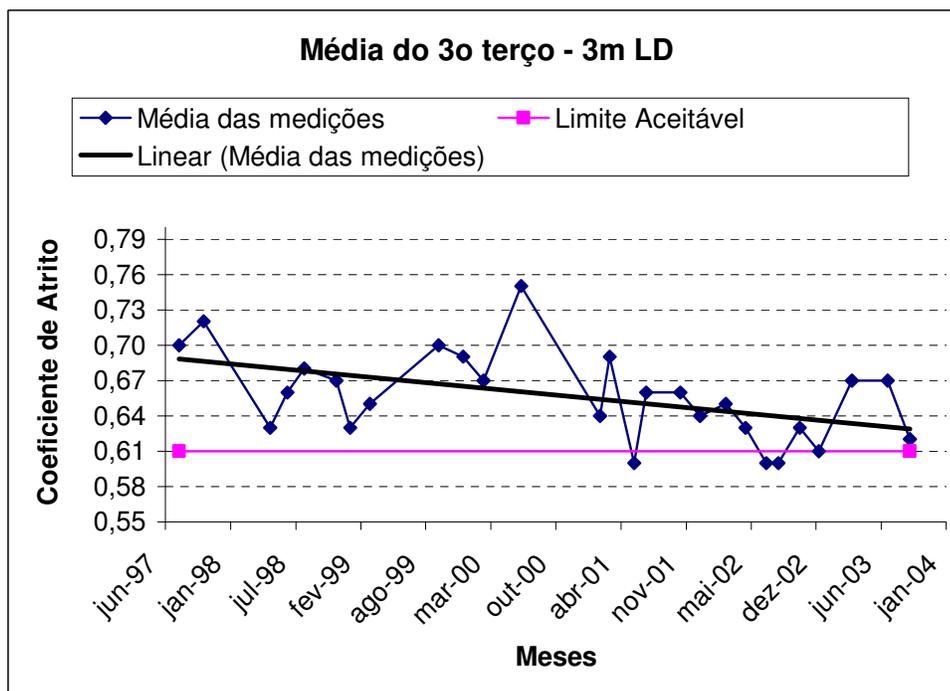


Figura 7.6 – Gráfico do coeficiente de atrito do 3º terço

No que diz respeito à remoção de borracha do pavimento, a tabela a seguir mostra, de forma simplificada, a frequência dessa remoção. Em virtude do tempo gasto com a realização do serviço, que é demorado, essas remoções são feitas, geralmente, de madrugada, já que as operações de pouso e decolagem são interrompidas durante esse tempo. Em média, são necessários quatro dias para a execução do serviço.

Tabela 7.2 – Frequência do desemborrachamento

	<i>jan</i>	<i>fev</i>	<i>mar</i>	<i>abr</i>	<i>mai</i>	<i>jun</i>	<i>jul</i>	<i>ago</i>	<i>set</i>	<i>out</i>	<i>nov</i>	<i>dez</i>
<b>2000</b>	X		X		X		X		X		X	
<b>2001</b>	X		X			X		X			X	
<b>2002</b>	X		X			X		X			X	
<b>2003</b>	X				X			X		X		

## 7.2 Análise dos resultados

Com base nos dados analisados e de acordo com a tabela 7.1, observa-se que o coeficiente de atrito é menor nas duas cabeceiras da pista, em especial a 20L (1<sup>o</sup> terço). Isto pode ser explicado pelo fato desta ser a cabeceira preferencial para pousos e decolagens.

Isto ocorre pelo fato dessa região ser o local em que a aeronave primeiramente toca o solo nas operações de pouso, nas quais os pneus são mais exigidos.

Quando uma aeronave está se aproximando da pista para realizar o procedimento de pouso, no momento em que ela toca o solo, ela está a 210 km/h aproximadamente. Conseqüentemente, os pneus da aeronave têm que ser acelerados repentinamente a uma velocidade angular que seja proporcional a 210 km/h, quando do contato com o solo. Isto ocorre necessariamente em uma fração de segundo. Esta aceleração repentina devido ao contato com a pista é responsável pela acumulação de borracha nos poros do pavimento, pois, no início, os pneus necessitam de uma força tangencial muito grande para que a roda e os conjuntos pesados dos pneus comecem a girar.

Este é um ponto importante, já que esse acúmulo de borracha na cabeceira da pista gera uma maior preocupação quanto ao monitoramento das condições de atrito da superfície do pavimento. Já em relação às empresas aéreas, este é um motivo de grandes gastos com pneus, tendo em vista que essa situação provoca maior desgaste dos mesmos.

Uma das alternativas estudadas é de se colocar os pneus girando momentos antes do toque, de forma a diminuir essa “derrapagem” inicial. Um dos argumentos negativos é que, com esse tipo de procedimento, a distância final de parada da aeronave se tornaria maior. Através de cálculos simples e aproximados, percebe-se que o aumento de distância pode realmente ser significativo, dependendo do tipo de aeronave e de seu peso, quando comparado com a distância de frenagem sem o giro prévio dos pneus.

Por exemplo, para um Boeing 747, que pese em torno de 182.000 kg, isto é, praticamente vazio, e que aterrisse com uma velocidade de 210 km/h aproximadamente, usando esse procedimento de pré-giramento das rodas, o avião teria uma distância de frenagem cerca de 30 metros maior que o procedimento padrão, o equivalente à metade do comprimento do avião, o que seria uma distância razoavelmente pequena. Entretanto, caso a aeronave estivesse cheia, o peso seria bem maior, acarretando uma diferença de distância de frenagem maior que 30 metros, passando a ser mais significativo.

Muito embora essa diferença da distância de frenagem não seja tão grande, em casos como o do Aeroporto Santos Dumont, esse comprimento de pista pode ser o diferencial entre um pouso seguro e um perigoso, já que, além da pista ser curta, os pilotos têm grande parcela de responsabilidade nesses tipos de operações.

Outro ponto a observar da tabela é o fato do coeficiente de atrito à 3 metros à esquerda do eixo da pista, em ambas as cabeceiras, serem, em média, maior que o outro lado do eixo. Ou seja, o lado mais próximo ao mar em relação ao eixo da pista, possui, em média, um coeficiente de atrito maior que o do lado mais distante do mar. Um possível motivo para isto ocorrer é a presença de vento de través, ou seja, ocorrência de ventos laterais vindos na direção mar - terra. Quando isto ocorre, a sustentação desenvolvida pela asa na direção que vem o vento reduz a força normal na respectiva roda sob a asa, fazendo com que o trem de pouso na outra asa experimente uma força normal maior. Dessa forma, a força tangencial que ocorre no momento do toque do avião no solo e que é responsável pela maior parte da acumulação de borracha no pavimento, é menor no trem de pouso sob a asa que recebe o vento, deixando esta parte do pavimento sem tanto desgaste quanto o outro lado, que é refletido num maior coeficiente de atrito.

Outra razão para essas diferenças de coeficientes de atrito observadas entre os dois lados do eixo da pista é a perícia do próprio piloto, que acaba, por vezes, não tocando o solo igualmente com as rodas do trem de pouso principal.

Analisando as retas médias traçadas (pretas), pode-se notar que possuem uma certa inclinação. Essa inclinação é um demonstrativo do desgaste que vem ocorrendo ao longo dos

anos. Observa-se também, que essa reta traçada está aproximando-se do valor mínimo de coeficiente de atrito, principalmente no 1º terço, onde se localiza a cabeceira preferencial para pousos e decolagens. Isto significa que já está no momento de realizar uma intervenção mais pesada no pavimento, como a própria reconstrução da CPA.

Esse desgaste é natural e ocorre, principalmente, na micro-textura do pavimento. Ou seja, com o passar do tempo, os pneus das aeronaves e as próprias operações de remoção de borracha vão desgastando os agregados da superfície, deixando-os mais lisos e provocando assim, a diminuição do atrito por adesão.

Uma outra forma de analisar estes altos e baixos nas medições do atrito, além do acúmulo de borracha que ocorre naturalmente, é o fato das remoções de borrachas não estarem sendo executadas corretamente, comprometendo sua eficiência. A não observância do tempo e da homogeneidade do espalhamento do detergente antes da aplicação do jato d'água pode ser um fator crucial para um rendimento baixo no desemborrachamento.

Com relação à frequência de remoção de borracha, pode-se notar que esta não é tão regular assim, até mesmo porque o acúmulo de borracha está associado com a frequência de utilização do aeroporto e do tipo de aeronave que mais o utiliza.

Percebe-se também que, como mostra o Anexo 1, a medição de atrito não foi realizada com uma frequência tão regular, o que dificulta o monitoramento do atrito, levando, possivelmente, a operações de desemborrachamento desnecessárias, uma vez que algumas dessas operações não foram precedidas de uma medição da condição de atrito do pavimento utilizando-se o Mu-meter. Existem medições com intervalos de até 8 meses. Destes anos analisados, o que teve a pior frequência foi o ano de 2000, com apenas duas medições, uma em fevereiro e outra em junho, seguido pelo ano de 2003, onde foram realizadas apenas três medições.

A falta de uma regularidade maior tanto de medição de atrito, quanto da remoção de borracha, dificultam a análise do real benefício, ou melhor, do real ganho de atrito que o pavimento tem depois de realizado o desemborrachamento. Isto é, os benefícios com o aumento das condições de atrito obtido com a remoção de borracha da superfície são evidentes, porém fica difícil dizer o quanto houve de melhora, já que as medições que foram realizadas depois dos desemborrachamentos, na maioria das vezes, foram realizadas algum tempo depois da remoção, o que, devido à contínua utilização do aeroporto, acarreta uma medição com o pavimento já um pouco contaminado novamente.

Dessa forma, sugere-se que sejam realizadas medições logo depois das remoções de borracha, para que, mais tarde, possa ser feita uma análise desses dados e seja possível medir

o quanto o pavimento melhora suas condições de atrito com a prática do desemborrachamento.

Uma outra recomendação importante e que irá ajudar numa futura reavaliação dos resultados obtidos é que sejam feitas anotações quanto à temperatura do pavimento e da água utilizada na medição, já que a temperatura de ambos influencia nos valores medidos.

De acordo com estudos da FAA e da NASA, os valores do coeficiente de atrito diminuem com o aumento da temperatura da água na razão de  $0,005/^{\circ}\text{C}$  e aumenta com o aumento da temperatura do pavimento na razão  $0,002/^{\circ}\text{C}$ . A temperatura de referência padrão é de  $20^{\circ}\text{C}$ .

Sugere-se também que a frequência de medição de atrito seja realmente realizada de dois em dois meses, embasando melhor, uma futura decisão de remoção de borracha, já que esse intervalo de tempo permite um melhor monitoramento.

## 8. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo, além de fazer uma análise do atrito da pista do Aeroporto Santos Dumont, reunir em um único lugar várias informações relacionadas ao atrito superficial em pavimentos aeroportuários que, normalmente, se encontram de forma dispersa.

Dessa maneira, abordou-se com detalhes os conceitos relacionados ao atrito em pavimentos aeroportuários, bem como algumas recomendações. Tratou-se também das formas de medição de atrito, dando a devida importância ao equipamento mais utilizado no Brasil – o Mu-meter. Detalharam-se ainda características e funcionalidades da camada porosa de atrito, citando suas vantagens e desvantagens quando utilizada.

De acordo com o conjunto de conceitos, informações e dados analisados, pôde-se concluir que tanto a medição do atrito como a remoção de borracha são operações sensíveis à vários fatores. E essa sensibilidade é refletida nos resultados das medições do coeficiente de atrito obtidos, influenciando, assim, nas decisões tomadas com base neles, tais como a remoção de borracha e/ou algum outro tipo de intervenção no pavimento, como a reconstrução da Camada Porosa de Atrito.

Uma questão importante e que deve ser analisada é o fato da medição de atrito ser realizada com um equipamento que mede o coeficiente de atrito transversal, sendo que o coeficiente de atrito longitudinal é o responsável pela força de atrito na frenagem durante o pouso. Esse é um fato que deve ser bem estudado para saber as conseqüências de se comparar tipos de atrito diferentes.

Dessa forma, sugere-se que sejam realizados testes de medições com equipamentos que meçam o coeficiente de atrito longitudinal e façam uma correlação entre os resultados dos dois tipos de medições, a fim de observar as diferenças e realizar os ajustes necessários para obtenção de resultados cada vez mais precisos.

Contudo, percebe-se que o monitoramento das condições de atrito do Aeroporto Santos Dumont é um item importantíssimo na manutenção das condições de segurança nas operações de pouso e decolagens, bem como a análise dos resultados desse monitoramento, fornecendo informações que ajudarão nas decisões futuras.

Para uma futura reavaliação desses e outros resultados, sugere-se também que seja realizado um cruzamento de informações entre as medições do atrito e o fluxo mensal de aeronaves no aeroporto, já que, em determinados meses, esse movimento pode ser maior ou

menor que o normal, influenciando diretamente na perda de atrito da superfície do pavimento e, conseqüentemente, na freqüência da remoção de borracha do mesmo.

Dessa forma, esse trabalho não visa esgotar o assunto, e sim, servir de estímulo e base para que sejam feitos ainda mais trabalhos e estudos relacionados ao tema.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATR News. Operação / Aeronaves. Disponível em:

<http://www.airsafetygroup.com.br/show.php?not=59&titulo=12>. Acesso em: 28 ago. 2004.

ASFT . *Airport Surface Friction Tester. Friction Testing 1944-97*. Disponível em:

<http://www.asft.se/history.html#2>. Acesso em: 22 set. 2004.

CARDOSO, S.H.; MARCON, A.F., APS, M.; MARCELLO, J.R. Proposta para Implantação de Centros de Análise e Controle de Acidentes (CACA) em órgãos rodoviários e vias urbanas. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 29., Cuiabá, MT, 1995. *Anais...* Cuiabá, MT: ABPV,1995. v.2 p.285-302.

ESDU. ENGINEERING SCIENCES DATA UNIT. *Example of Statistical Analysis of Wet Runway Friction: Ground-test Machine Data*. London: ESDU, 2000, 21p. (ESDU Data Item No. 00018).

ESDU. ENGINEERING SCIENCES DATA UNIT. *Frictional and Retarding Forces on Aircraft Tyres, Part 1: Introduction*. London: ESDU, 1971, 40p. (ESDU Data Item No. 71025).

FAA. IV. Porous Friction Course (PFC). May, 1999. Disponível em:

[http://www.faa.gov/arp/anm/services/construction/pavement\\_manual/section\\_iv.htm](http://www.faa.gov/arp/anm/services/construction/pavement_manual/section_iv.htm). Acesso em: 01 nov. 2004.

FHWA. Us of PMS Data for Performance Monitoring with Superpave as an Example. [199-?]. Disponível em: <http://www.fhwa.dot.gov/infrastructure/asstmgmt/pms10.htm#101>. Acesso em: 12 set. 2004.

FONSECA, P. Misturas Betuminosas Drenantes – a Experiência Portuguesa. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA, 3., Belo Horizonte, MG, 1998. *Anais...* 10 p.

GILLESPIE, THOMAS D. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992. 495p.

INFRAERO. Histórico. Disponível em:

<http://www.infraero.gov.br/www/home.nsf/agGetDocument?OpenAgent&ID=C3771B09AAC6DB1682256A1C0044BBC8&Lang=br>. Acesso em: 02 set. 2004.

IPIRANGA. Camada Porosa de Atrito (CPA). . [199-?]. Disponível em:

[http://www.ipiranga.com.br/petroleo/asfaltos/conteudo\\_produtos\\_servicos\\_pavimentacao.htm](http://www.ipiranga.com.br/petroleo/asfaltos/conteudo_produtos_servicos_pavimentacao.htm)  
Acesso em: 29 set. 2004.

JETSITE. Santos Dumont: Olha que Coisa Mais Linda. . [199-?]. Disponível em:

[http://www.jetsite.com.br/2004/mostra\\_aeroporto.asp?codi=59](http://www.jetsite.com.br/2004/mostra_aeroporto.asp?codi=59). Acesso em: 03 set. 2004.

KAMYA, K., Shimeno, S.; MINAKATA, T. *Status and Concerns on JH's Drainage Asphalt Pavement*. [S.l.]: Japan Highway Public Corporation, 1998. 17 p.

KANDHAL, P. S. ; MALLICK, R.B. *Open Graded Asphalt Friction Course: State of the Practice*. [S.l.:S.n.]: NCAT, 1998. (NCAT Report No. 98-7) 31p.

KOKKALIS, A.G. Prediction of Skid Resistance from Texture Measurements. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Transport*, 129, p. 85-93, 1998.

MEURER FILHO, E. *Estudos de Granulometria para Concretos Asfálticos Drenantes*. 2001. 163f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2001.

MOMM, L. Pavimento drenante em concreto asfáltico. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA, 7., Vitória, ES, 2002. *Anais...* 27 p.

PONCINO, H. Adherencia neumático-pavimento. Conceptos generales. Estado Del conocimiento. *Boletín de la Comisión Permanente del Asfalto*, n.94, Buenos Aires, Argentina, 2001.

PORTO, H. G. *Pavimentos Drenantes*. São Paulo: D & Z Computação Gráfica e Ed., 1999. 109 p.

RIO, R.C. El índice de fricción internacional (IFI) - obtención e aplicaciones. *Revista Rutas*, 1, p.1-18, 1996.

SOUZA, F.S.V.; NEVES, M.A. ; BARROS, R.M.V. Avaliação da resistência à derrapagem nas rodovias do estado do Espírito Santo. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 28., 1994, Belo Horizonte, MG. *Anais...* Belo Horizonte, MG: ABPV, 1994. 3: 385-408.

STORMWATER Management Fact Sheet: Porous Pavement. Disponível em:  
[http://www.stormwatercenter.net/Assorted%20Fact%20Sheets/Tool6\\_Stormwater\\_Practices/Infiltration%20Pratice/Porous%20Pavement.htm](http://www.stormwatercenter.net/Assorted%20Fact%20Sheets/Tool6_Stormwater_Practices/Infiltration%20Pratice/Porous%20Pavement.htm). Acesso em: 04 nov. 2004.

TEIXEIRA, G.L., FREITAS, E.; YAMASHITA, Y. Pavimentos Modificados como Forma de Redução do Nível de Ruído do Tráfego Urbano. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA, 6., Brasília, DF, 2001. *Anais...* 15 p.

THIN Maintenance Overlays. Caltrans Division of Maintenance. Outubro, 2003. Chapter 8 . Disponível em: [http://www.dot.ca.gov/hq/maint/mtag/ch8\\_maint\\_overlays.pdf](http://www.dot.ca.gov/hq/maint/mtag/ch8_maint_overlays.pdf). Acesso em: 02 nov. 2004.

## ANEXOS

**Anexo 1 – Medições de Atrito da Pista Principal do Aeroporto Santos Dumont Realizadas com o Equipamento Mu-meter**

31/jul/97

Trechos	Valores medidos			
Distância (m)	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	54	0,64	51	0,65
100 - 200	62	0,66	63	0,67
200 - 300	67	0,71	65	0,7
300 - 400	66	0,72	65	0,73
<b>Média 1º terço</b>	<b>62</b>	<b>0,68</b>	<b>61</b>	<b>0,69</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>6</b>	<b>0,04</b>	<b>7</b>	<b>0,04</b>
400 - 500	66	0,71	65	0,73
500 - 600	65	0,71	65	0,73
600 - 700	72	0,72	63	0,72
700 - 800	64	0,73	64	0,72
<b>média 2º terço</b>	<b>67</b>	<b>0,72</b>	<b>64</b>	<b>0,73</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>4</b>	<b>0,01</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
800 - 900	65	0,72	65	0,73
900 - 1000	64	0,72	63	0,71
1000 - 1100	65	0,66	64	0,69
1100 - 1200	63	0,64	67	0,67
<b>média 3º terço</b>	<b>64</b>	<b>0,69</b>	<b>65</b>	<b>0,70</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,04</b>	<b>2</b>	<b>0,03</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>64</b>	<b>0,70</b>	<b>63</b>	<b>0,70</b>
<b>desvio</b>	<b>4</b>	<b>0,03</b>	<b>4</b>	<b>0,03</b>

15/out/97

Trechos	Valores médios de cada trecho			
	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	54	0,68	50	0,63
100 - 200	65	0,68	55	0,64
200 - 300	69	0,71	64	0,67
300 - 400	67	0,73	69	0,71
<b>Média 1º terço</b>	<b>64</b>	<b>0,70</b>	<b>60</b>	<b>0,66</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>7</b>	<b>0,02</b>	<b>9</b>	<b>0,04</b>
400 - 500	66	0,72	65	0,73
500 - 600	65	0,72	66	0,72
600 - 700	64	0,73	66	0,72
700 - 800	66	0,74	63	0,72
<b>média 2º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,73</b>	<b>65</b>	<b>0,72</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
800 - 900	64	0,74	63	0,73
900 - 1000	64	0,72	64	0,73
1000 - 1100	65	0,66	65	0,73
1100 - 1200	64	0,68	64	0,7
<b>média 3º terço</b>	<b>64</b>	<b>0,70</b>	<b>64</b>	<b>0,72</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,04</b>	<b>1</b>	<b>0,02</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>64</b>	<b>0,71</b>	<b>63</b>	<b>0,70</b>
<b>desvio</b>	<b>4</b>	<b>0,03</b>	<b>5</b>	<b>0,04</b>

7/mai/98

Trechos	Valores médios de cada trecho			
Distância (m)	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	50	0,66	54	0,6
100 - 200	62	0,64	65	0,62
200 - 300	64	0,65	66	0,66
300 - 400	66	0,63	65	0,66
<b>Média 1º terço</b>	<b>61</b>	<b>0,65</b>	<b>63</b>	<b>0,64</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>7</b>	<b>0,01</b>	<b>6</b>	<b>0,03</b>
400 - 500	66	0,63	65	0,65
500 - 600	65	0,63	66	0,64
600 - 700	65	0,63	64	0,63
700 - 800	65	0,64	65	0,62
<b>média 2º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,63</b>	<b>65</b>	<b>0,64</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,00</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
800 - 900	64	0,65	65	0,63
900 - 1000	65	0,66	63	0,65
1000 - 1100	64	0,62	63	0,64
1100 - 1200	63	0,63	64	0,61
<b>média 3º terço</b>	<b>64</b>	<b>0,64</b>	<b>64</b>	<b>0,63</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,02</b>	<b>1</b>	<b>0,02</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>63</b>	<b>0,64</b>	<b>64</b>	<b>0,63</b>
<b>desvio</b>	<b>4</b>	<b>0,01</b>	<b>3</b>	<b>0,02</b>

29/jun/98

Trechos	Valores médios de cada trecho			
Distância (m)	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	54	0,66	53	0,61
100 - 200	66	0,66	64	0,62
200 - 300	66	0,67	65	0,68
300 - 400	67	0,67	64	0,66
<b>Média 1º terço</b>	<b>63</b>	<b>0,67</b>	<b>62</b>	<b>0,64</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>6</b>	<b>0,01</b>	<b>6</b>	<b>0,03</b>
400 - 500	64	0,67	66	0,65
500 - 600	63	0,66	65	0,65
600 - 700	65	0,66	66	0,64
700 - 800	64	0,66	65	0,65
<b>média 2º terço</b>	<b>64</b>	<b>0,66</b>	<b>66</b>	<b>0,65</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,00</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
800 - 900	64	0,68	62	0,66
900 - 1000	63	0,69	66	0,68
1000 - 1100	64	0,65	63	0,67
1100 - 1200	66	0,64	66	0,64
<b>média 3º terço</b>	<b>64</b>	<b>0,67</b>	<b>64</b>	<b>0,66</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,02</b>	<b>2</b>	<b>0,02</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>64</b>	<b>0,66</b>	<b>64</b>	<b>0,65</b>
<b>desvio</b>	<b>3</b>	<b>0,01</b>	<b>4</b>	<b>0,02</b>

20/ago/98

Trechos	Valores médios de cada trecho			
	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	55	0,61	50	0,6
100 - 200	66	0,6	57	0,61
200 - 300	67	0,65	64	0,67
300 - 400	66	0,69	66	0,67
<b>Média 1º terço</b>	<b>64</b>	<b>0,64</b>	<b>59</b>	<b>0,64</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>6</b>	<b>0,04</b>	<b>7</b>	<b>0,04</b>
400 - 500	65	0,68	66	0,68
500 - 600	66	0,67	67	0,67
600 - 700	65	0,69	64	0,68
700 - 800	66	0,69	65	0,67
<b>média 2º terço</b>	<b>66</b>	<b>0,68</b>	<b>66</b>	<b>0,68</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
800 - 900	65	0,7	66	0,68
900 - 1000	64	0,68	65	0,71
1000 - 1100	65	0,63	63	0,68
1100 - 1200	63	0,62	65	0,66
<b>média 3º terço</b>	<b>64</b>	<b>0,66</b>	<b>65</b>	<b>0,68</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,04</b>	<b>1</b>	<b>0,02</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>64</b>	<b>0,66</b>	<b>63</b>	<b>0,67</b>
<b>desvio</b>	<b>3</b>	<b>0,04</b>	<b>5</b>	<b>0,03</b>

26/nov/98

Trechos	Valores médios de cada trecho			
Distância (m)	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	55	0,63	52	0,59
100 - 200	66	0,65	63	0,58
200 - 300	66	0,68	65	0,64
300 - 400	65	0,69	65	0,69
<b>Média 1º terço</b>	<b>63</b>	<b>0,66</b>	<b>61</b>	<b>0,63</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>5</b>	<b>0,03</b>	<b>6</b>	<b>0,05</b>
400 - 500	65	0,68	65	0,69
500 - 600	65	0,68	64	0,71
600 - 700	65	0,69	66	0,7
700 - 800	65	0,7	64	0,68
<b>média 2º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,69</b>	<b>65</b>	<b>0,70</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>0</b>	<b>0,01</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
800 - 900	64	0,71	66	0,68
900 - 1000	65	0,66	64	0,69
1000 - 1100	64	0,63	63	0,66
1100 - 1200	65	0,64	65	0,63
<b>média 3º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,66</b>	<b>65</b>	<b>0,67</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,04</b>	<b>1</b>	<b>0,03</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>64</b>	<b>0,67</b>	<b>64</b>	<b>0,66</b>
<b>desvio</b>	<b>3</b>	<b>0,03</b>	<b>4</b>	<b>0,04</b>

8/jan/99

Trechos	Valores médios de cada trecho			
Distância (m)	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	57	0,63	54	0,57
100 - 200	69	0,62	61	0,58
200 - 300	66	0,62	65	0,61
300 - 400	66	0,63	65	0,65
<b>Média 1º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,63</b>	<b>61</b>	<b>0,60</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>5</b>	<b>0,01</b>	<b>5</b>	<b>0,04</b>
400 - 500	64	0,63	65	0,65
500 - 600	65	0,62	65	0,65
600 - 700	66	0,62	66	0,63
700 - 800	64	0,63	65	0,63
<b>média 2º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,63</b>	<b>65</b>	<b>0,64</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
800 - 900	65	0,66	63	0,62
900 - 1000	65	0,64	65	0,63
1000 - 1100	64	0,61	64	0,63
1100 - 1200	67	0,58	65	0,63
<b>média 3º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,62</b>	<b>64</b>	<b>0,63</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,03</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>65</b>	<b>0,62</b>	<b>64</b>	<b>0,62</b>
<b>desvio</b>	<b>3</b>	<b>0,02</b>	<b>3</b>	<b>0,03</b>

10/mar/99

Trechos	Valores médios de cada trecho			
Distância (m)	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	52	0,59	52	0,56
100 - 200	65	0,61	62	0,58
200 - 300	67	0,64	62	0,63
300 - 400	66	0,64	63	0,67
<b>Média 1º terço</b>	<b>63</b>	<b>0,62</b>	<b>60</b>	<b>0,61</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>7</b>	<b>0,02</b>	<b>5</b>	<b>0,05</b>
400 - 500	64	0,64	66	0,67
500 - 600	66	0,64	65	0,66
600 - 700	64	0,66	64	0,66
700 - 800	65	0,66	64	0,65
<b>média 2º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,65</b>	<b>65</b>	<b>0,66</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
800 - 900	64	0,69	64	0,66
900 - 1000	64	0,63	65	0,67
1000 - 1100	65	0,59	64	0,65
1100 - 1200	63	0,6	64	0,61
<b>média 3º terço</b>	<b>64</b>	<b>0,63</b>	<b>64</b>	<b>0,65</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,05</b>	<b>1</b>	<b>0,03</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>64</b>	<b>0,63</b>	<b>63</b>	<b>0,64</b>
<b>desvio</b>	<b>4</b>	<b>0,03</b>	<b>4</b>	<b>0,04</b>

6/out/99

Trechos	Valores médios de cada trecho			
Distância (m)	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	51	0,68	48	0,69
100 - 200	64	0,69	59	0,68
200 - 300	66	0,7	63	0,68
300 - 400	64	0,71	65	0,71
<b>Média 1º terço</b>	<b>61</b>	<b>0,70</b>	<b>59</b>	<b>0,69</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>7</b>	<b>0,01</b>	<b>8</b>	<b>0,01</b>
400 - 500	65	0,7	63	0,7
500 - 600	64	0,68	66	0,69
600 - 700	66	0,69	66	0,69
700 - 800	64	0,69	64	0,7
<b>média 2º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,69</b>	<b>65</b>	<b>0,70</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>	<b>2</b>	<b>0,01</b>
800 - 900	64	0,7	64	0,71
900 - 1000	66	0,71	64	0,71
1000 - 1100	63	0,69	64	0,69
1100 - 1200	64	0,7	63	0,69
<b>média 3º terço</b>	<b>64</b>	<b>0,70</b>	<b>64</b>	<b>0,70</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>63</b>	<b>0,70</b>	<b>62</b>	<b>0,70</b>
<b>desvio</b>	<b>4</b>	<b>0,01</b>	<b>5</b>	<b>0,01</b>

21/dez/99

Trechos	Valores médios de cada trecho			
	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	51	0,7	48	0,66
100 - 200	62	0,68	58	0,64
200 - 300	67	0,68	65	0,66
300 - 400	65	0,68	61	0,68
<b>Média 1º terço</b>	<b>61</b>	<b>0,69</b>	<b>58</b>	<b>0,66</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>7</b>	<b>0,01</b>	<b>7</b>	<b>0,02</b>
400 - 500	66	0,68	63	0,69
500 - 600	65	0,69	66	0,69
600 - 700	65	0,68	65	0,68
700 - 800	65	0,67	67	0,67
<b>média 2º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,68</b>	<b>65</b>	<b>0,68</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>	<b>2</b>	<b>0,01</b>
800 - 900	65	0,67	65	0,69
900 - 1000	65	0,66	64	0,68
1000 - 1100	65	0,65	66	0,67
1100 - 1200	65	0,67	64	0,7
<b>média 3º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,66</b>	<b>65</b>	<b>0,69</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>0</b>	<b>0,01</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>64</b>	<b>0,68</b>	<b>63</b>	<b>0,68</b>
<b>desvio</b>	<b>4</b>	<b>0,01</b>	<b>5</b>	<b>0,02</b>

22/fev/00

Trechos	Valores médios de cada trecho			
Distância (m)	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	51	0,69	47	0,64
100 - 200	63	0,68	58	0,62
200 - 300	65	0,68	65	0,65
300 - 400	67	0,69	62	0,68
<b>Média 1º terço</b>	<b>62</b>	<b>0,69</b>	<b>58</b>	<b>0,65</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>7</b>	<b>0,01</b>	<b>8</b>	<b>0,02</b>
400 - 500	65	0,69	66	0,68
500 - 600	63	0,70	65	0,67
600 - 700	66	0,68	63	0,67
700 - 800	66	0,68	65	0,66
<b>média 2º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,69</b>	<b>65</b>	<b>0,67</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
800 - 900	64	0,68	64	0,67
900 - 1000	65	0,67	66	0,66
1000 - 1100	63	0,66	65	0,65
1100 - 1200	64	0,67	65	0,68
<b>média 3º terço</b>	<b>64</b>	<b>0,67</b>	<b>65</b>	<b>0,67</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>64</b>	<b>0,68</b>	<b>63</b>	<b>0,66</b>
<b>desvio</b>	<b>4</b>	<b>0,01</b>	<b>5</b>	<b>0,02</b>

16/jun/00

Trechos	Valores médios de cada trecho			
	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	54	0,64	59	0,74
100 - 200	62	0,66	69	0,71
200 - 300	67	0,71	65	0,76
300 - 400	66	0,72	67	0,75
<b>Média 1º terço</b>	<b>62</b>	<b>0,68</b>	<b>65</b>	<b>0,74</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>6</b>	<b>0,04</b>	<b>4</b>	<b>0,02</b>
400 - 500	68	0,76	63	0,76
500 - 600	63	0,76	61	0,74
600 - 700	66	0,74	66	0,73
700 - 800	65	0,73	65	0,73
<b>média 2º terço</b>	<b>66</b>	<b>0,75</b>	<b>64</b>	<b>0,74</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>2</b>	<b>0,01</b>	<b>2</b>	<b>0,01</b>
800 - 900	65	0,73	64	0,74
900 - 1000	66	0,73	65	0,73
1000 - 1100	64	0,72	65	0,74
1100 - 1200	64	0,76	62	0,78
<b>média 3º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,74</b>	<b>64</b>	<b>0,75</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,02</b>	<b>1</b>	<b>0,02</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>64</b>	<b>0,72</b>	<b>64</b>	<b>0,74</b>
<b>desvio</b>	<b>4</b>	<b>0,04</b>	<b>3</b>	<b>0,02</b>

14/fev/01

Trechos	Valores médios de cada trecho			
Distância (m)	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	54	0,64	55	0,60
100 - 200	65	0,61	67	0,58
200 - 300	63	0,62	67	0,60
300 - 400	65	0,61	62	0,61
<b>Média 1º terço</b>	<b>62</b>	<b>0,62</b>	<b>63</b>	<b>0,60</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>5</b>	<b>0,01</b>	<b>6</b>	<b>0,01</b>
400 - 500	65	0,62	65	0,60
500 - 600	65	0,63	65	0,60
600 - 700	65	0,64	62	0,61
700 - 800	65	0,62	62	0,60
<b>média 2º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,63</b>	<b>64</b>	<b>0,60</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>0</b>	<b>0,01</b>	<b>2</b>	<b>0,00</b>
800 - 900	65	0,62	66	0,63
900 - 1000	65	0,62	63	0,63
1000 - 1100	65	0,58	65	0,63
1100 - 1200	65	0,63	61	0,65
<b>média 3º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,61</b>	<b>64</b>	<b>0,64</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>0</b>	<b>0,02</b>	<b>2</b>	<b>0,01</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>64</b>	<b>0,62</b>	<b>63</b>	<b>0,61</b>
<b>desvio</b>	<b>3</b>	<b>0,02</b>	<b>3</b>	<b>0,02</b>

15/mar/01

Trechos	Valores médios de cada trecho			
Distância (m)	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	50	0,69	52	0,66
100 - 200	63	0,66	63	0,62
200 - 300	67	0,68	65	0,66
300 - 400	66	0,69	66	0,66
<b>Média 1º terço</b>	<b>62</b>	<b>0,68</b>	<b>62</b>	<b>0,65</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>8</b>	<b>0,01</b>	<b>6</b>	<b>0,02</b>
400 - 500	66	0,7	66	0,70
500 - 600	64	0,71	67	0,69
600 - 700	66	0,69	65	0,69
700 - 800	66	0,7	64	0,66
<b>média 2º terço</b>	<b>66</b>	<b>0,70</b>	<b>66</b>	<b>0,69</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>	<b>1</b>	<b>0,02</b>
800 - 900	66	0,69	66	0,69
900 - 1000	65	0,65	65	0,69
1000 - 1100	64	0,63	64	0,67
1100 - 1200			65	0,70
<b>média 3º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,66</b>	<b>65</b>	<b>0,69</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,03</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>64</b>	<b>0,68</b>	<b>64</b>	<b>0,67</b>
<b>desvio</b>	<b>5</b>	<b>0,02</b>	<b>4</b>	<b>0,02</b>

30/mai/01

Trechos	Valores médios de cada trecho			
	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	54	0,59	53	0,56
100 - 200	65	0,58	65	0,55
200 - 300	65	0,59	64	0,57
300 - 400	66	0,59	65	0,56
<b>Média 1º terço</b>	<b>63</b>	<b>0,59</b>	<b>62</b>	<b>0,56</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>6</b>	<b>0,01</b>	<b>6</b>	<b>0,01</b>
400 - 500	66	0,61	64	0,58
500 - 600	65	0,61	64	0,58
600 - 700	64	0,61	66	0,57
700 - 800	64	0,61	66	0,57
<b>média 2º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,61</b>	<b>65</b>	<b>0,58</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,00</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
800 - 900	63	0,62	64	0,59
900 - 1000	65	0,64	65	0,59
1000 - 1100	64	0,63	64	0,59
1100 - 1200	62	0,65	62	0,61
<b>média 3º terço</b>	<b>64</b>	<b>0,64</b>	<b>64</b>	<b>0,60</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>64</b>	<b>0,61</b>	<b>64</b>	<b>0,58</b>
<b>desvio</b>	<b>3</b>	<b>0,02</b>	<b>3</b>	<b>0,02</b>

5/jul/01

Trechos	Valores médios de cada trecho			
	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	54	0,66	53	0,64
100 - 200	67	0,63	66	0,58
200 - 300	67	0,63	67	0,61
300 - 400	65	0,64	65	0,64
<b>Média 1º terço</b>	<b>63</b>	<b>0,64</b>	<b>63</b>	<b>0,62</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>6</b>	<b>0,01</b>	<b>7</b>	<b>0,03</b>
400 - 500	65	0,65	65	0,65
500 - 600	66	0,66	65	0,63
600 - 700	66	0,65	66	0,64
700 - 800	66	0,65	66	0,64
<b>média 2º terço</b>	<b>66</b>	<b>0,65</b>	<b>66</b>	<b>0,64</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
800 - 900	66	0,65	63	0,66
900 - 1000	66	0,65	65	0,66
1000 - 1100	66	0,61	65	0,64
1100 - 1200	63	0,64	65	0,66
<b>média 3º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,64</b>	<b>65</b>	<b>0,66</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>2</b>	<b>0,02</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>65</b>	<b>0,64</b>	<b>64</b>	<b>0,64</b>
<b>desvio</b>	<b>4</b>	<b>0,01</b>	<b>4</b>	<b>0,02</b>

18/out/01

Trechos	Valores médios de cada trecho			
Distância (m)	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	56	0,64	54	0,62
100 - 200	67	0,64	62	0,59
200 - 300	65	0,64	65	0,60
300 - 400	65	0,65	63	0,61
<b>Média 1º terço</b>	<b>63</b>	<b>0,64</b>	<b>61</b>	<b>0,61</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>5</b>	<b>0,01</b>	<b>5</b>	<b>0,01</b>
400 - 500	65	0,64	63	0,64
500 - 600	65	0,65	65	0,64
600 - 700	65	0,65	65	0,64
700 - 800	65	0,64	65	0,64
<b>média 2º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,65</b>	<b>65</b>	<b>0,64</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>0</b>	<b>0,01</b>	<b>1</b>	<b>0,00</b>
800 - 900	65	0,65	64	0,64
900 - 1000	65	0,62	63	0,65
1000 - 1100	65	0,58	65	0,64
1100 - 1200	65	0,6	65	0,69
<b>média 3º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,61</b>	<b>64</b>	<b>0,66</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>0</b>	<b>0,03</b>	<b>1</b>	<b>0,02</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>64</b>	<b>0,63</b>	<b>63</b>	<b>0,63</b>
<b>desvio</b>	<b>3</b>	<b>0,02</b>	<b>3</b>	<b>0,03</b>

18/dez/01

Trechos	Valores médios de cada trecho			
	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	56	0,62	55	0,61
100 - 200	67	0,63	66	0,60
200 - 300	66	0,63	66	0,62
300 - 400	66	0,63	64	0,64
<b>Média 1º terço</b>	<b>64</b>	<b>0,63</b>	<b>63</b>	<b>0,62</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>5</b>	<b>0,01</b>	<b>5</b>	<b>0,02</b>
400 - 500	65	0,62	66	0,63
500 - 600	66	0,62	66	0,64
600 - 700	64	0,63	66	0,63
700 - 800	65	0,62	65	0,64
<b>média 2º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,62</b>	<b>66</b>	<b>0,64</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
800 - 900	65	0,63	65	0,64
900 - 1000	65	0,62	65	0,65
1000 - 1100	66	0,58	64	0,62
1100 - 1200	63	0,62	64	0,63
<b>média 3º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,61</b>	<b>65</b>	<b>0,64</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,02</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>65</b>	<b>0,62</b>	<b>64</b>	<b>0,63</b>
<b>desvio</b>	<b>3</b>	<b>0,01</b>	<b>3</b>	<b>0,01</b>

6/mar/02

Trechos	Valores médios de cada trecho			
Distância (m)	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	49	0,64	60	0,63
100 - 200	57	0,61	68	0,63
200 - 300	64	0,65	63	0,64
300 - 400	67	0,68	66	0,65
<b>Média 1º terço</b>	<b>59</b>	<b>0,65</b>	<b>64</b>	<b>0,64</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>8</b>	<b>0,03</b>	<b>4</b>	<b>0,01</b>
400 - 500	62	0,7	69	0,67
500 - 600	63	0,69	66	0,67
600 - 700	64	0,69	66	0,67
700 - 800	66	0,68	66	0,69
<b>média 2º terço</b>	<b>64</b>	<b>0,69</b>	<b>67</b>	<b>0,68</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>2</b>	<b>0,01</b>	<b>2</b>	<b>0,01</b>
800 - 900	67	0,69	63	0,68
900 - 1000	64	0,7	64	0,66
1000 - 1100	63	0,69	64	0,62
1100 - 1200			63	0,64
<b>média 3º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,69</b>	<b>64</b>	<b>0,65</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>2</b>	<b>0,01</b>	<b>1</b>	<b>0,03</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>62</b>	<b>0,67</b>	<b>65</b>	<b>0,65</b>
<b>desvio</b>	<b>5</b>	<b>0,03</b>	<b>2</b>	<b>0,02</b>

6/mai/02

Trechos	Valores médios de cada trecho			
Distância (m)	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	57	0,61	63	0,61
100 - 200	66	0,58	69	0,60
200 - 300	63	0,61	68	0,62
300 - 400	66	0,61	67	0,62
<b>Média 1º terço</b>	<b>63</b>	<b>0,60</b>	<b>67</b>	<b>0,61</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>4</b>	<b>0,02</b>	<b>3</b>	<b>0,01</b>
400 - 500	68	0,63	66	0,61
500 - 600	62	0,63	65	0,63
600 - 700	61	0,62	65	0,64
700 - 800	65	0,63	66	0,65
<b>média 2º terço</b>	<b>64</b>	<b>0,63</b>	<b>66</b>	<b>0,63</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>3</b>	<b>0,01</b>	<b>1</b>	<b>0,02</b>
800 - 900	62	0,64	65	0,65
900 - 1000	62	0,7	63	0,64
1000 - 1100	62	0,65	63	0,63
1100 - 1200	62	0,68	63	0,61
<b>média 3º terço</b>	<b>62</b>	<b>0,67</b>	<b>64</b>	<b>0,63</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>0</b>	<b>0,03</b>	<b>1</b>	<b>0,02</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>63</b>	<b>0,63</b>	<b>65</b>	<b>0,63</b>
<b>desvio</b>	<b>3</b>	<b>0,03</b>	<b>2</b>	<b>0,02</b>

10/jul/02

Trechos	Valores médios de cada trecho			
Distância (m)	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	57	0,6	52	0,59
100 - 200	68	0,59	65	0,55
200 - 300	67	0,59	66	0,58
300 - 400	64	0,58	66	0,69
<b>Média 1º terço</b>	<b>64</b>	<b>0,59</b>	<b>62</b>	<b>0,60</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>5</b>	<b>0,01</b>	<b>7</b>	<b>0,06</b>
400 - 500	66	0,56	65	0,60
500 - 600	65	0,6	65	0,57
600 - 700	65	0,59	64	0,60
700 - 800	65	0,58	64	0,59
<b>média 2º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,58</b>	<b>65</b>	<b>0,59</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,02</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
800 - 900	65	0,61	65	0,59
900 - 1000	65	0,61	65	0,58
1000 - 1100	64	0,57	64	0,60
1100 - 1200	64	0,58	66	0,61
<b>média 3º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,59</b>	<b>65</b>	<b>0,60</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,02</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>65</b>	<b>0,59</b>	<b>64</b>	<b>0,60</b>
<b>desvio</b>	<b>3</b>	<b>0,02</b>	<b>4</b>	<b>0,03</b>

9/ago/02

Trechos	Valores médios de cada trecho			
	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	51	0,69	53	0,67
100 - 200	65	0,74	66	0,67
200 - 300	66	0,75	65	0,67
300 - 400	65	0,73	63	0,66
<b>Média 1º terço</b>	<b>62</b>	<b>0,73</b>	<b>62</b>	<b>0,67</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>7</b>	<b>0,03</b>	<b>6</b>	<b>0,00</b>
400 - 500	64	0,375	66	0,68
500 - 600	65	0,74	65	0,68
600 - 700	66	0,75	65	0,68
700 - 800	65	0,75	66	0,70
<b>média 2º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,65</b>	<b>66</b>	<b>0,69</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,19</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
800 - 900	65	0,75	66	0,67
900 - 1000	65	0,69	66	0,65
1000 - 1100	65	0,74	66	0,68
1100 - 1200				
<b>média 3º terço</b>	<b>65</b>	<b>0,73</b>	<b>66</b>	<b>0,67</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>0</b>	<b>0,03</b>	<b>0</b>	<b>0,02</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>64</b>	<b>0,70</b>	<b>64</b>	<b>0,67</b>
<b>desvio</b>	<b>4</b>	<b>0,11</b>	<b>4</b>	<b>0,01</b>

16/ago/02

Trechos	Valores médios de cada trecho			
Distância (m)	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	55	0,61	56	0,58
100 - 200	67	0,62	67	0,61
200 - 300	65	0,61	65	0,60
300 - 400	64	0,61	65	0,59
<b>Média 1º terço</b>	<b>63</b>	<b>0,61</b>	<b>63</b>	<b>0,60</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>5</b>	<b>0,01</b>	<b>5</b>	<b>0,01</b>
400 - 500	66	0,6	66	0,59
500 - 600	66	0,6	65	0,59
600 - 700	66	0,59	64	0,59
700 - 800	66	0,59	64	0,58
<b>média 2º terço</b>	<b>66</b>	<b>0,60</b>	<b>65</b>	<b>0,59</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>0</b>	<b>0,01</b>	<b>1</b>	<b>0,00</b>
800 - 900	55	0,61	65	0,59
900 - 1000	65	0,61	66	0,60
1000 - 1100	64	0,58	65	0,59
1100 - 1200	65	0,6	65	0,60
<b>média 3º terço</b>	<b>62</b>	<b>0,60</b>	<b>65</b>	<b>0,60</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>5</b>	<b>0,01</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>64</b>	<b>0,60</b>	<b>64</b>	<b>0,59</b>
<b>desvio</b>	<b>4</b>	<b>0,01</b>	<b>3</b>	<b>0,01</b>

21/out/02

Trechos	Valores médios de cada trecho			
Distância (m)	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	54	0,63	54	0,59
100 - 200	61	0,56	60	0,59
200 - 300	65	0,56	66	0,58
300 - 400	69	0,57	67	0,62
<b>Média 1º terço</b>	<b>62</b>	<b>0,58</b>	<b>62</b>	<b>0,60</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>6</b>	<b>0,03</b>	<b>6</b>	<b>0,02</b>
400 - 500	69	0,58	68	0,64
500 - 600	68	0,57	68	0,63
600 - 700	69	0,55	68	0,63
700 - 800	69	0,56	68	0,63
<b>média 2º terço</b>	<b>69</b>	<b>0,57</b>	<b>68</b>	<b>0,63</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>	<b>0</b>	<b>0,01</b>
800 - 900	68	0,54	69	0,61
900 - 1000	68	0,56	67	0,64
1000 - 1100	68	0,57	64	0,63
1100 - 1200	64	0,59	58	0,63
<b>média 3º terço</b>	<b>67</b>	<b>0,57</b>	<b>65</b>	<b>0,63</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>2</b>	<b>0,02</b>	<b>5</b>	<b>0,01</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>66</b>	<b>0,57</b>	<b>65</b>	<b>0,62</b>
<b>desvio</b>	<b>5</b>	<b>0,02</b>	<b>5</b>	<b>0,02</b>

19/dez/02

Trechos	Valores médios de cada trecho			
Distância (m)	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	61	0,55	63	0,57
100 - 200	67	0,51	70	0,59
200 - 300	67	0,56	67	0,59
300 - 400	68	0,58	67	0,57
<b>Média 1º terço</b>	<b>66</b>	<b>0,55</b>	<b>67</b>	<b>0,58</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>3</b>	<b>0,03</b>	<b>3</b>	<b>0,01</b>
400 - 500	61	0,59	67	0,59
500 - 600	65	0,6	66	0,60
600 - 700	63	0,61	65	0,62
700 - 800	64	0,6	63	0,63
<b>média 2º terço</b>	<b>63</b>	<b>0,60</b>	<b>65</b>	<b>0,61</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>2</b>	<b>0,01</b>	<b>2</b>	<b>0,02</b>
800 - 900	65	0,61	66	0,63
900 - 1000	64	0,61	65	0,62
1000 - 1100	65	0,61	64	0,59
1100 - 1200	62	0,64	63	0,59
<b>média 3º terço</b>	<b>64</b>	<b>0,62</b>	<b>65</b>	<b>0,61</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>	<b>1</b>	<b>0,02</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>64</b>	<b>0,59</b>	<b>66</b>	<b>0,60</b>
<b>desvio</b>	<b>2</b>	<b>0,03</b>	<b>2</b>	<b>0,02</b>

29/abr/03

Trechos	Valores médios de cada trecho			
Distância (m)	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	60	0,62	62	0,64
100 - 200	66	0,61	63	0,66
200 - 300	61	0,6	68	0,66
300 - 400	60	0,62	66	0,67
<b>Média 1º terço</b>	<b>62</b>	<b>0,61</b>	<b>65</b>	<b>0,66</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>3</b>	<b>0,01</b>	<b>3</b>	<b>0,01</b>
400 - 500	65	0,63	64	0,67
500 - 600	63	0,63	63	0,67
600 - 700	64	0,63	65	0,66
700 - 800	64	0,63	63	0,68
<b>média 2º terço</b>	<b>64</b>	<b>0,63</b>	<b>64</b>	<b>0,67</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,00</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
800 - 900	64	0,64	64	0,69
900 - 1000	64	0,66	64	0,68
1000 - 1100	63	0,63	64	0,66
1100 - 1200	63	0,63	64	0,66
<b>média 3º terço</b>	<b>64</b>	<b>0,64</b>	<b>64</b>	<b>0,67</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>	<b>0</b>	<b>0,01</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>63</b>	<b>0,63</b>	<b>64</b>	<b>0,67</b>
<b>desvio</b>	<b>2</b>	<b>0,01</b>	<b>2</b>	<b>0,01</b>

17/jul/03

Trechos	Valores médios de cada trecho			
Distância (m)	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	60	0,58	64	0,63
100 - 200	65	0,63	69	0,64
200 - 300	62	0,65	71	0,66
300 - 400	64	0,67	69	0,68
<b>Média 1º terço</b>	<b>63</b>	<b>0,63</b>	<b>68</b>	<b>0,65</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>2</b>	<b>0,04</b>	<b>3</b>	<b>0,02</b>
400 - 500	64	0,68	67	0,69
500 - 600	65	0,69	66	0,68
600 - 700	65	0,69	66	0,69
700 - 800	61	0,7	65	0,70
<b>média 2º terço</b>	<b>64</b>	<b>0,69</b>	<b>66</b>	<b>0,69</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>2</b>	<b>0,01</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
800 - 900	63	0,69	64	0,69
900 - 1000	65	0,67	67	0,67
1000 - 1100	61	0,65	67	0,66
1100 - 1200	62	0,68	63	0,66
<b>média 3º terço</b>	<b>63</b>	<b>0,67</b>	<b>65</b>	<b>0,67</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>2</b>	<b>0,02</b>	<b>2</b>	<b>0,01</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>63</b>	<b>0,67</b>	<b>67</b>	<b>0,67</b>
<b>desvio</b>	<b>2</b>	<b>0,03</b>	<b>2</b>	<b>0,02</b>

24/set/03

Trechos	Valores médios de cada trecho			
Distância (m)	3m LE		3m LD	
	Velocidade (km/h)	Atrito	Velocidade (km/h)	Atrito
0 - 100	57	0,63	56	0,65
100 - 200	66	0,6	63	0,63
200 - 300	68	0,6	66	0,61
300 - 400	64	0,63	66	0,61
<b>Média 1º terço</b>	<b>64</b>	<b>0,62</b>	<b>63</b>	<b>0,63</b>
<b>Desvio 1º terço</b>	<b>5</b>	<b>0,02</b>	<b>5</b>	<b>0,02</b>
400 - 500	62	0,64	65	0,63
500 - 600	65	0,64	63	0,63
600 - 700	64	0,64	64	0,65
700 - 800	66	0,64	65	0,66
<b>média 2º terço</b>	<b>64</b>	<b>0,64</b>	<b>64</b>	<b>0,64</b>
<b>desvio 2º terço</b>	<b>2</b>	<b>0,00</b>	<b>1</b>	<b>0,01</b>
800 - 900	66	0,63	66	0,64
900 - 1000	65	0,63	66	0,62
1000 - 1100	64	0,61	66	0,60
1100 - 1200	62	0,65	65	0,62
<b>média 3º terço</b>	<b>64</b>	<b>0,63</b>	<b>66</b>	<b>0,62</b>
<b>desvio 3º terço</b>	<b>2</b>	<b>0,02</b>	<b>1</b>	<b>0,02</b>
<b>Total</b>				
<b>média</b>	<b>64</b>	<b>0,63</b>	<b>64</b>	<b>0,63</b>
<b>desvio</b>	<b>3</b>	<b>0,02</b>	<b>3</b>	<b>0,02</b>

**Anexo 2 – Check List de Operação****Mu - Meter  
Mu - Meter  
eletronico  
eletronico  
MK - 4  
MK - 4****CHECK LIST DE OPERAÇÃO****EP - 30**

## **I - INTRODUÇÃO**

O sistema eletrônico Mark 4 de Mu-Meter utilizando-se de programação de computador para auxiliar o operador em suas medições, além de ser simples no processo de medição, é muito mais preciso em suas leituras de atrito do que o modelo antigo.

Este “check list” tem como finalidade uma rápida familiarização do operador do Mu-Meter com as etapas necessárias para a utilização do aparelho na medição do atrito da pista. Maiores detalhes sobre o aparelho e sua manutenção podem ser vistos no seu manual de operações.

## **II – OPERACÃO**

Em sua utilização diária, devemos seguir as seguintes etapas para a operação do Mu- Meter:

a) calibração dos pneus

Utilizando um manômetro de precisão, cheque a pressão dos pneus das rodas de medida do Mu-Meter (  $10 \pm 0,5$  psi ) e da roda traseira (  $30 \pm 1$  psi ).

b) calibração do zero

b.1) defina uma área à esquerda do veículo (  $\pm 5$ m de comprimento ), de onde você possa visualizar o processador e o monitor “nível do olho” instalados dentro da cabine do veículo reboque enquanto passar o Mu-Meter sobre a prancha;

b.2) posicione a prancha para o deslocamento do Mu-Meter ( odedeça o sentido da flecha para este deslocamento ). Varra a prancha e a área ao redor. Esteja certo também que os pneus não estão com areia ou sujeira que acarretem leituras incorretas;

b.3) conecte o cabo de extensão entre o Mu-Meter e a tomada atrás do veículo reboque;

b.4) posicione o Mu-Meter com a roda traseira cerca de 30 cm para fora do limite da prancha e alinhe as rodas de medida com as faixas da prancha;

b.5) aperte “POWER” no processador e deixe a unidade completar o auto-teste;

b.6) verifique se a data e hora estão corretas, do contrário modifique-as utilizando o teclado ( você deve apertar “ENTER” após cada dado digitado );

b.7) aperte as teclas “COMMAND” e “CALIBRATE” juntas para iniciar a calibração;

b.8) aperte “YES” e “ENTER” para iniciar a calibração. Observe que a roda traseira deve estar abaixada, do contrário você deve apertar o botão “WHEEL DOWN” do processador; (tirar a trava).

Obs: **movimentar o Mu-Meter levemente até chegar máximo do zero no monitor nível de olho. Isto facilita a retirada do pino.**

b.9) localize e retire o pino que conecta a célula à estrutura do lado esquerdo da unidade do Mu-Meter quando observar no display do processador: “REMOVE PIN AND ADJUST ZERO CALIBRATION KNOB”.

B.10) na caixa do condicionador de sinal ( atrás do Mu-Meter ), localize o botão “Zero Calibrate”, destrave-o e gire-o até zerar o marcador do monitor “nível do olho” da cabine. Note que quando aquele estiver zerado, será emitido um som. Trave o marcador novamente;

b.11) uma vez zerado, o display verifica o ajuste correto: “ZERO ADJUSTMENT CORRECT” ( push “ENTER” ), e você deve apertar “ENTER”;

b.12) em seguida o processador pedirá para entrar com os três dígitos mostrados acima do botão do “ZERO CALIBRATE” através da instrução “ENTER - DIGIT ZERO KNOB NUMBER”, e você deve entrar com os dígitos e a calibração do zero está terminada;

c) calibração do Mu-Meter

c.1) observe que o display mostra: “INSTALL LOAD CELL THEN POSITION MU-METER ON TEST BOARD”, indicando que você deve recolocar a célula e posicionar o Mu-Meter

sobre a prancha. Caso o pino esteja difícil de ser colocado, mova o Mu-Meter para trás e para frente para alinhar o furo da célula com o da estrutura. Em seguida aperte “ENTER”;

c.2) em seguida o processador pedirá para puxar o Mu-Meter pela prancha de teste (“PULL – MU-METER ACROSS TEST BOARD”). Você deve puxá-lo o mais uniforme possível durante aproximadamente nove segundos, não fazendo paradas durante o movimento. Durante o percurso, o processador emite um sinal sonoro;

c.3) se você fez o procedimento correto, será imprimido um gráfico, com a leitura do atrito da prancha. O valor padrão é 0.77, entretanto, uma leitura de 0.74 a 0.79 mantida durante 2 a 5 Seg, está dentro do aceitável na calibração;

c.4) se a leitura é inaceitável, ajuste o botão de calibração do Mu-Meter na caixa do controlador de sinal no (Mu-Meter) e recomece do procedimento (c.2). Uma mudança em  $\pm 200$  no número do botão, mudará a leitura do Mu em  $\pm 0.03$ , deslocando o gráfico do atrito para cima ou para baixo proporcionalmente;

c.5) quando for perguntado se está satisfeito com a calibração, confirme apertando “YES” e depois “ENTER”;

c.6) em seguida o processador pedirá para você entrar com os 3 dígitos do botão do Mu;

c.7) logo após, o processador pedirá para entrar com suas iniciais. O processador imprime então a hora, data, número do botão e iniciais. A calibração do Mu está encerrada. **Desligue o processador e desconecte o cabo de extensão** do Mu-Meter. Antes de desligar, levantar a roda.

**Atenção:** Após a calibração, retirar a bequilha e conectar a mangueira d’água.

d) teste do sistema de aspersão

d.1) encha o tanque de água;

d.2) verifique níveis de óleo e gasolina do motor da bomba. Evite ultrapassar  $\frac{3}{4}$  do volume do tanque de gasolina para evitar vazamento;

d.3) acople o Mu-Meter ao veículo reboque, conectando pino de segurança, cabo elétrico e mangueira de água;

d.4) ligue o processador ( “POWER” ) e verifique se os auto-testes se realizaram sem problemas;

d.5) deixe a chave 40/60 mph para 40 na caixa de controle na cabine;

d.6) a primeira vez que o motor for ligado no dia, a partida deve ser feita puxando-se a “corda de arranque” do motor, com o afogador em “AFOGADO” e o nível de controle em “IDLE” ( marcha lenta ). Uma vez dada a partida no motor, comece a mover o afogador para “RUN” ( normal ) e o nível de controle para “FAST” ( rápido );

d.7) deixe o motor aquecer por  $\pm 2$  min. e em seguida ligue a chave de água da cabine pela caixa do controle remoto. Observe que a luz vermelha de pressão se acende por pouco tempo e em seguida a verde acende indicando pressão “OK”. Caso a luz verde não se mantiver acesa, você deverá calibrar o sistema de aspersão (item e);

d.8) verifique se não há vazamento pelas mangueiras. Se houver, desligue rapidamente a água e a bomba através da caixa de controle remoto. A bomba deve ser desligada apertando o botão vermelho “STOP” até que o motor esteja totalmente desligado. Não havendo vazamento e a pressão estando correta, a verificação do sistema de aspersão está terminada. Encha o tanque se for preciso.

e) calibração do sistema de aspersão

Esse ítem só é necessário ser realizado caso se verifique que a luz verde de pressão de água não se mantiver acesa ( ver ítem d.7 )

e.1) encha o tanque de água e acople o Mu-Meter ao veículo reboque, conectando pino de segurança, cabo elétrico e mangueira de água;

e.2) remova a tampa de plástico do topo do regulador de pressão marcado “40” e afrouxe a porca que segura o parafuso de ajuste de pressão;

e.3) ligue o motor da bomba;

e.4) posicione a chave de pressão para 40 mph ( na caixa de controle remoto ) e ligue a chave de água;

e.5) gire o parafuso de ajuste no sentido horário até que a luz de alta pressão acenda ou fique piscando. Marque esta posição do parafuso;

e.6) agora gire devagar o parafuso no sentido anti-horário até que a luz de baixa pressão se acenda ou fique piscando. Marque também esta posição e desligue o sistema de água;

f.8) “ENTER MEASUREMENT PROGRAM NOTE” – entre com suas observações (máx 40 caracteres ). Ex: 3 metros do lado esquerdo do eixo;

f.9) “AUTOMATIC COMPUTE ( YES / NO ) ?” – responda preferencialmente “YES” para o cálculo automático do atrito médio de cada seção da pista;

f.10) “AUTO COMPUTE DISTANCE ( 100 – 15750)?” – entre com a distância entre cada cômputo ( multiplo de 50 ) em pés ou em metros, de acordo com o que está estabelecido no botão English/metric da caixa do controlador de sinal;

f.11) “SPEED WARNING ALARM ( YES/NO )?” – responda preferencialmente “YES” para ativar o alarme de velocidade. Sendo assim, um ruído será emitido sempre que o veículo estiver fora da velocidade estipulada (  $40 \pm 2$  mph );

f.12) “SPEED ALARM SETTING ( USUALLY 40 )?” – aperte “YES” para confirmar os 40 mph; (deixar em 40 o botão da água)

f.13) “LOW MU ALARM ( YES/NO )?” – preferencialmente aperte “YES” para soar o alarme para baixos valores de atrito;

f.14) “LOW MU ALARM SETTING ( USUALLY. 25 )?” – entre com os dígitos “50” para que o alarme soe cada vez que o atrito for menor que 0.50;

f.15) “END AT PRESET DISTANCE” ( YES/NO )?” – aperte preferencialmente “YES” para que as medidas de atrito encerrem em uma distância pré-definida;

f.16) “END DISTANCE ( 101-15800 ) – entre com a distância a ser medida;

g.7) aperte “START” no processador para começar a computar as leituras do atrito, quando passar pela posição desejada como início;

g.8) aperte o botão “EVENT” no processador se desejar fazer marcações de trechos da pista;

g.9) terminado o percurso, deslique a água, deslique o motor da bomba ( lembre que o botão vermelho deve ser mantido apertado até o motor parar totalmente ) e erga a roda do Mu-Meter;

g.10) responda “YES” à pergunta “PRINT” PROGRAM (YES/NO)?” se desejar imprimir o gráfico da corrida:

**OBS:** Se desejar terminar a corrida antes do percurso estabelecido no programa, aperte o botão “START/END”;

g) examinando o impresso;

Existe certas marcas de alerta que podem ser vistas no impresso, caso você tenha programado para isso:

g.1) marca de alerta de velocidade (1 linha) : indica velocidade diferente de  $40 \pm 2$  mph;

g.2) marca de alerta de pressão (2 linhas paralelas): indica se a pressão da água está fora da normalidade;

g.3) marca de baixo atrito (3 linhas paralelas): indica os trechos onde o atrito medido foi inferior ao estabelecido no programa (no nosso caso 0.5).

**Atenção:** Ao terminar a operação, levantar a roda e recolocar a bequilha.

## **Anexo 3 – Especificações Técnicas para Camada Porosa de Atrito**

### **CAMADA POROSA DE ATRITO**

#### **1 - GENERALIDADES**

Camada porosa de atrito é o revestimento superficial, flexível, de graduação aberta, resultante da mistura a quente em usina apropriada, de agregado mineral graduado, material de enchimento (filler) e material betuminoso.

É uma camada de espessura constante, de macro-textura aberta e características drenantes, que proporciona superfície antiderrapante e evita a ocorrência de aquaplanagem, permitindo que o coeficiente de atrito da superfície do pavimento permaneça dentro de faixas aceitáveis, em quaisquer condições meteorológicas.

Não possui função estrutural. Deve ser aplicada sobre pavimentos de concreto asfáltico de alta estabilidade Marshall, com boa declividade transversal, superfície sã e isenta de contaminações, tais como borracha, tinta, óleo etc, construídos ou restaurados especialmente para receber a camada.

Não deve ser construída nos primeiros 200 metros de cada cabeceira.

#### **2 – MATERIAIS**

Todos os materiais devem satisfazer às especificações provadas pela DIRENG.

##### **2.1 - Material betuminoso**

Deverão ser utilizados os cimentos asfálticos de petróleo (CAP), de penetração 50 / 60 ou 85 / 100.

##### **2.2 – Agregados**

Deverá ser utilizada pedra britada, com ou sem outro agregado mineral inerte finalmente dividido, indicado nas Especificações Complementares e previamente aprovado pela FISCALIZAÇÃO. O agregado deve constituir-se de fragmentos sãos, duráveis, livres de torrões de argila, de matéria orgânica e de substâncias nocivas, com índice de forma superior a 0,5.

Em hipótese alguma deverão ser utilizados seixo britado e/ou areia natural. O agregado fino deverá ser proveniente de britagem, preferencialmente de material da mesma jazida do agregado graúdo.

A fração do agregado retida na peneira nº 4 (4,8 mm) não deverá apresentar porcentagem superior a 30% no Ensaio de Desgaste Los Angeles, sendo aconselhável, quando economicamente viável, um desgaste inferior a 25%.

A fração do agregado que passa na peneira ½” (19,0 mm) e é retida na peneira nº 4 (4,8 mm), quando submetida ao ensaio de durabilidade não deverá apresentar, após 5 ciclos, perda superior a 9% em solução de sulfato de sódio ou perda superior a 12% em solução de sulfato de magnésio.

A fração do agregado que passa na peneira de ½” (19,0 mm) e fica retida na peneira ¼” (6,3 mm), quando submetida ao ensaio de adesividade, não deverá apresentar deslocamento da película betuminosa.

NOTA: Mesma que haja uma boa adesividade entre o agregado e o material betuminoso, deve-se incrementá-la ao máximo utilizando-se um agente melhorador de adesividade adequado ao agregado.

### 2.3 - Material de enchimento (fíller)

Deve ser constituído por materiais minerais finamente divididos, inerte em relação aos demais componentes da mistura, não plásticos, tais como cimento Portland, cal hidratada, pós calcáreos etc, e que atendem à seguinte granulometria:

<b>Peneira</b>	<b>Porcentagem mínima passando</b>
Nº 30	100
Nº 50	95
Nº 200	70

O fíller mineral deverá ser isento de impurezas orgânicas e ter um índice de plasticidade inferior a 4.

Pelo menos 1,5%, em peso, da mistura total deverá ser constituído de cal hidratada.

#### 2.4 - Composição da mistura

A composição da camada porosa de atrito deverá satisfazer aos requisitos apresentados no quadro abaixo:

FAIXA GRANULOMÉTRICA	
PENEIRA	PERCENTAGEM PASSANDO EM PESO
1/2" (12,5 mm)	100
3/8" (9,5 mm)	80 - 100
No 4 (4,8 mm)	20 - 40
No 8 (2,4 mm)	12 - 20
No 30 (0,60 mm)	8 - 14
No 200 (0,074 mm)	3 - 5
Espessura da camada compactada	3/4" (20 mm)
Teor de betume solúvel em CS2	5-6% em peso
Teor de vazios	20 - 25%

A curva granulométrica, além de estar completamente contida na faixa granulométrica referida, não deverá passar de um bordo desta para o outro, entre duas peneiras consecutivas.

O teor de betume deverá ser determinado pelo Método da Superfície Específica, da seguinte forma:

$$100 S = 0,17 A + 0,33 B + 2,30 C + 12 D + 135 F$$

onde:

A = % maior que a  $\neq$  3/8"

B = % maior que a  $\neq$  4 e menor ou igual a  $\neq$  3/8"

C = % maior que a  $\neq$  40 e menor ou igual a  $\neq$  4

D = % maior que a  $\neq$  200 e menor ou igual a  $\neq$  40

F = % passando na  $\neq$  200

S = % superfície específica em m<sup>2</sup>/kg

e,

$$P = M \cdot \sqrt[3]{S}$$

onde:

P = teor de asfalto, em peso;

M = módulo de riqueza, variando entre 3,4 e 3,5.

A porcentagem de betume se refere à mistura de agregados considerada como 100%.

### 3 – EQUIPAMENTO

Todo equipamento, antes do início da execução da obra, deverá ser examinado pela FISCALIZAÇÃO, devendo estar de acordo com esta Especificação, sem o que não será dada a Ordem de Serviço.

#### 3.1 - Depósitos para Material Betuminoso

Os depósitos para o ligante betuminoso deverão ser capazes de aquecer o material, às temperaturas fixadas nesta Especificação. O aquecimento deverá ser feito por meio de serpentinas a vapor, eletricidade ou outros meios, de modo a não haver contato de chamas com o interior do depósito. Deverá ser instalado um sistema de circulação para o ligante betuminoso, de modo a garantir a circulação, desembaraçada e contínua, do depósito ao misturador, durante todo o período de operação. Todas as tubulações e acessórios deverão ser dotados de isolamento, a fim de evitar perdas de valor. A capacidade dos depósitos deverá ser suficiente para, no mínimo, três dias de serviço.

#### 3.2 - Depósitos para Agregados

Os silos deverão ter capacidade total de, no mínimo, três vezes a capacidade do misturador e serão divididos em compartimentos, dispostos de modo a separar e estocar, adequadamente, as diversas frações do agregado. Cada compartimento deverá possuir dispositivos de descarga. Haverá um silo adequado para o filler, conjugado com dispositivos para a sua dosagem.

#### 3.3 - Usinas para misturas betuminosas

A usina deverá estar equipada com uma unidade classificadora de agregados, após o secador, dispor de misturador tipo Pugmill, com duplo eixo conjugado, provido de palhetas reversíveis e removíveis, ou outro tipo capaz de produzir uma mistura uniforme. O misturador deve ainda possuir dispositivo de descarga, de fundo ajustável e dispositivo para controlar o ciclo completo de mistura. Um termômetro, com proteção metálica e escala de 90<sup>0</sup> a 210 <sup>0</sup>C, deverá ser fixado na linha de alimentação do asfalto, em local adequado, próximo à descarga

do misturador. A usina deverá ser equipada, além disso, com um termômetro de mercúrio, com escala em dial, pirômetro elétrico, ou outros instrumentos termométricos aprovados, colocados na descarga do secador, para registrar a temperatura dos agregados.

### 3.4 – Acabadora

O equipamento para espalhamento e acabamento deverá ser constituído de pavimentadoras automotrizes, capazes de espalhar e conformar a mistura copiando o greide da superfície base e manter rigorosamente a espessura de projeto da camada. As acabadoras deverão ser equipadas com parafusos sem fim, para colocar as misturas exatamente nas faixas, e possuir dispositivos rápidos e eficientes de direção, além de marchas para frente e para trás. As acabadoras deverão ser equipadas com alisadores e dispositivos para aquecimento dos mesmos, à temperatura requerida, para colocação da mistura sem irregularidades.

### 3.5 - Equipamento para a compressão

O equipamento para compressão será constituído por rolos lisos do tipo Tandem, autopropulsados, com uma carga de 6 a 8 toneladas. Em hipótese alguma deverão ser utilizados rolos pneumáticos.

O equipamento em operação deve ser suficiente para comprimir a mistura à densidade (ou índice de vazios ou permeabilidade) requerida, enquanto esta se encontrar em condições de trabalhabilidade.

### 3.6 - Caminhões para transporte da mistura

Os caminhões, tipo basculante, para o transporte do concreto betuminoso, deverão ter caçambas metálicas robustas, limpas e lisas, ligeiramente lubrificadas com água e sabão, óleo parafínico, ou solução de cal, de modo a evitar a aderência da mistura às chapas.

## 4 – EXECUÇÃO

### 4.1 - Temperatura de preparo da mistura

A temperatura de aplicação do cimento asfáltico deverá ser determinada para cada tipo de ligante, em função da relação temperatura - viscosidade. A temperatura conveniente é aquela na qual o asfalto apresenta uma viscosidade situada dentro da faixa de 75 a 150 segundos Saybolt-Furol, indicando-se, preferencialmente, a viscosidade de  $85 \pm 10$  segundos. Não devem ser feitas misturas a temperaturas superiores a  $177^{\circ}\text{C}$ .

Os agregados deverão ser aquecidos a temperaturas de 10 °C a 15 °C, acima da temperatura do ligante betuminoso.

#### 4.2 - Produção da mistura

A produção da mistura será efetuada em usinas apropriadas, conforme anteriormente especificado.

O tempo mínimo de mistura na usina deverá ser de 60 segundos.

#### 4.3 - Transporte da mistura

A mistura produzida deverá ser transportada da usina ao ponto de aplicação, nos veículos basculantes antes especificados.

Quando necessário, para que a mistura seja colocada na pista à temperatura especificada, cada carregamento deverá ser coberto com lona ou outro material aceitável para evitar a perda de calor da mistura.

#### 4.4 - Preparo da superfície existente

A camada porosa de atrito deverá ser construída sobre pavimentos estruturalmente íntegros, cujo revestimento apresente percentagem de vazios e valores de fluência e estabilidade Marshall dentro das faixas especificadas para o concreto betuminoso usinado a quente.

Antes da construção da camada porosa de atrito deverá ser feita a restauração do pavimento existente, compreendendo: restauração da declividade transversal, reparo e selagem de trincas, reconstrução de áreas onde houver evidência de falha estrutural, remoção de depósitos de borracha e limpeza de graxa e combustível derramado.

Em seguida à restauração, a superfície deverá ser limpa com jatos de ar comprimido e escovas mecânicas ou manuais, após o que deverá receber pintura de ligação, com emulsão catiônica, para garantir a perfeita aderência da camada porosa de atrito.

#### 4.5 - Trecho experimental

Antes da produção da mistura em usina, em escala industrial, a Empreiteira deverá preparar uma quantidade de mistura betuminosa, na composição da mistura de projeto, suficiente para construir a camada porosa de atrito em um trecho experimental com 20 m de comprimento e 6 m de largura. O trecho experimental será indicado pela FISCALIZAÇÃO. A camada deverá ser construída em dois segmentos e deverá possuir a espessura de projeto.

O pavimento sobre o qual será construído este trecho deverá possuir as mesmas características superficiais que o pavimento subjacente à camada porosa de atrito a ser construída.

O equipamento utilizado na construção deste trecho será o mesmo a ser utilizado no restante do serviço.

Se o trecho experimental se mostrar insatisfatório, deverão ser realizados os ajustes necessários na composição da mistura de projeto, ou na operação da usina e ou nos procedimentos de compactação. Conforme necessário, deverão ser construídos trechos experimentais adicionais para atender às especificações.

A produção industrial da mistura não deverá ser iniciada sem a aprovação da FISCALIZAÇÃO.

#### 4.6 - Distribuição e compressão da mistura

A mistura somente deve ser distribuída quando a temperatura ambiente se encontrar acima de 10 °C e com tempo não chuvoso.

A distribuição da mistura deve ser feita por máquinas acabadoras, conforme já especificado.

O trabalho de distribuição far-se-á das bordas para o eixo, em faixas sucessivas.

A rolagem deve ser iniciada imediatamente após a distribuição da mistura. Como norma geral, a temperatura de rolagem é a mais elevada que a mistura possa suportar, temperatura essa fixada experimentalmente para cada caso.

A temperatura recomendável para a compressão da mistura é aquela na qual o ligante apresenta uma viscosidade Saybolt-furol de  $140 \pm 15$  segundos para o cimento asfáltico utilizado.

A compressão deverá ser realizada, longitudinalmente, iniciando-se pelas bordas. A seqüência de compactação da primeira faixa deverá prever a rolagem inicial da borda mais baixa da faixa e depois a rolagem da borda mais alto. O interior da faixa será compactado no sentido do lado mais baixo para o mais alto. Cada passada do rolo deve ser recoberta, na seguinte, de, pelo menos, metade da largura rolada. Nas faixas de pavimentação adjacentes, a compactação deverá ser iniciada a partir da faixa compactada sobrepondo a junta de, aproximadamente, 20 cm e depois compactando a outra borda da nova faixa. O interior da nova faixa será rolado conforme descrito anteriormente.

Durante a rolagem não serão permitidas, mudanças de direção e inversões bruscas de marcha, nem estacionamento do equipamento sobre a camada recém rolada. As rodas do rolo

deverão ser umedecidas adequadamente, de modo a evitar a aderência da mistura. Caso ocorra deslocamento da mistura durante a composição, qualquer que seja a causa, a mesma deverá ser removida e reconstruída pela aplicação de mistura nova.

#### 4.7 – Juntas

A camada deverá ser executada em trechos curtos (60 a 100 metros de comprimento), de forma a permitir sua completa execução, em toda a largura da pista, em uma mesma jornada de trabalho.

O acabamento vertical das bordas laterais da camada e juntas transversais de espera deverá ser obtido pela colocação de sarrafos de madeira, com a espessura da camada pronta, quando do espalhamento e compactação da mistura.

As juntas longitudinais da camada porosa de atrito deverão ser deslocadas das juntas longitudinais do pavimento existente de, pelo menos, 30 cm. Em hipótese alguma as juntas deverão ser serradas.

#### 4.8 - Abertura ao trânsito

A camada porosa de atrito recém acabada só deverá ser aberta ao tráfego após o seu completo resfriamento.

### 5 - CONTROLE

Todos os materiais deverão ser examinados em laboratório, obedecendo à metodologia indicada pela DIRENG e satisfazer às Especificações em vigor.

#### 5.1 - Controle de qualidade do material betuminoso

O controle de qualidade do material betuminoso constará, para o cimento asfáltico, do seguinte:

1 Ensaio de Viscosidade Saybolt-Furol, para todo carregamento que chegar à obra;

1 Ensaio de Ponto de Fulgor, para cada 50 t ;

1 índice de Pfeiffer, para cada 50 t. ;

1 Ensaio de Espuma, para todo o carregamento que chegar à obra; e

1 Ensaio de Efeito do Calor e do Ar (película delgada) para cada 50 t.

### 5.2 - Controle de qualidade dos agregados

O controle de qualidade dos agregados constará do seguinte:

- 1 Ensaio de Determinação de Umidade do agregado, de cada silo quente, por dia;
- 2 Ensaio de Granulometria do agregado, de cada silo quente, por dia;
- 1 Ensaio de Desgaste de Los Angeles, por mês, ou quando houver variação da natureza do material;
- 1 Ensaio de índice de Forma, para cada 900 m<sup>3</sup>; e
- 1 Ensaio de Granulometria do material de enchimento (filler), por dia.

### 5.3 - Controle da qualidade de ligante na mistura

Devem ser efetuadas duas extrações de betume, de amostras coletadas, na pista, no ponto de descarga das unidades de transporte, para cada dia de 8 horas de trabalho. A percentagem de ligante poderá variar, no máximo  $\pm 0,4 \%$  da fixada no projeto.

### 5.4 - Controle de graduação da mistura de agregados

Será procedido o Ensaio de Granulometria da mistura dos agregados resultantes das extrações citadas no item anterior. A curva granulométrica deve manter-se contínua, enquadrando-se dentro das tolerâncias especificadas no quadro que se segue.

<b>Peneiras</b>	<b>% passando, em peso</b>
1/2" (19,0 mm)	7,0
3/8" (12,5 mm)	7,0
No 4 (4,8 mm)	7,0
No 8 (2,4 mm)	4,0
No 30 (0,60 mm)	4,0
No 200 (0,074 mm)	2,0

### 5.5 - Controle de temperatura

Serão efetuadas, no mínimo, quatro medidas de temperatura, por dia, em cada um dos itens abaixo discriminados:

- a) do agregado, no silo quente da usina;
- b) do ligante, na usina;
- c) da mistura betuminosa, na saída do misturador da usina; e
- d) da mistura, no momento do espalhamento e no início da rolagem, na pista.

Em cada caminhão, antes da descarga, será feita, pelo menos, uma leitura da temperatura.

As temperaturas devem satisfazer os limites especificados anteriormente.

#### 5.6 - Controle de espessura

A espessura da camada porosa de atrito deverá ser determinada pela extração de um corpo de prova de diâmetro superior a 5 cm (2"), ao acaso, para cada 600 m<sup>2</sup> de área acabada, após o espalhamento e compressão da mistura.

Admitir-se-ão as variações de espessura em pontos isolados apresentados no quadro abaixo:

<b>Espessuras</b>		
Nominal	Máxima	mínima
20 mm	25 mm	15 mm

Quando a espessura de qualquer corpo de prova superar as tolerâncias estabelecidas anteriormente, deverão ser extraídos corpos de prova adicionais a intervalos de 5m, em alinhamentos paralelo e perpendicular ao eixo da pista, até encontrar corpos de prova com espessuras dentro da faixa de tolerância.

As áreas cujas espessuras não estiverem enquadradas dentro dos limites de tolerância serão deduzidas do pagamento ou, a critério da FISCALIZAÇÃO, deverão ser removidas e reconstruídas. Não serão permitidas camadas superpostas para a complementação de espessura.

#### 5.7 - Controle de acabamento da superfície

Durante a execução, deverá ser feito diariamente o controle de acabamento da superfície de revestimento, com o auxílio de duas réguas, uma de 3,00 m e outra de 0,90 m, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da pista, respectivamente. A variação da superfície, entre dois pontos quaisquer de contato, não deve exceder a 0,5 cm, quando verificada com qualquer das réguas.

As áreas que excederam as tolerâncias especificadas deverão ser removidas e reconstruídas, não sendo permitida a correção através de camadas superpostas.

### 6 – MEDIÇÃO

A camada porosa de atrito será medida através da mistura betuminosa aplicada, em metros quadrados.

Os trechos experimentais não serão medidos para fins de pagamento.

## 7 – PAGAMENTO

Os serviços serão pagos pelos preços unitários contratuais, em conformidade com a medição referida no item anterior.

O preço unitário incluirá a obtenção de materiais, inclusive o material betuminoso, o melhorador de adesividade, o preparo, o transporte, o espalhamento e a compressão da mistura; toda mão-de-obra e encargos; equipamentos e eventuais relativos a este serviço, assim como todo o transporte de agregados, material betuminoso, melhorador de adesividade e material de enchimento.

\* \* \*

