



# **Medida de aderência em pistas de aeroportos**

## **métodos e equipamentos; limites internacionais**

**Avaliação e Reabilitação de Pavimentos**

**Prof. Dra. Liedi Bernucci**

Carolina de Medeiros  
Gustavo Moriggi Frohlich  
Pedro Henrique Sabino Ferreira

# ÍNDICE

---

- **Justificativa**
- **Conceitos básicos**
- **Histórico**
- **Métodos e equipamentos**

# ÍNDICE

---

- **Justificativa**
- **Conceitos básicos**
- **Histórico**
- **Métodos e equipamentos**

# Justificativa

100

milhões

de embarques e desembarques

1,5

milhões

de pousos e decolagens

75

milhões

de toneladas em cargas transportadas

Em 2017, no Brasil, segundo a INFRAERO

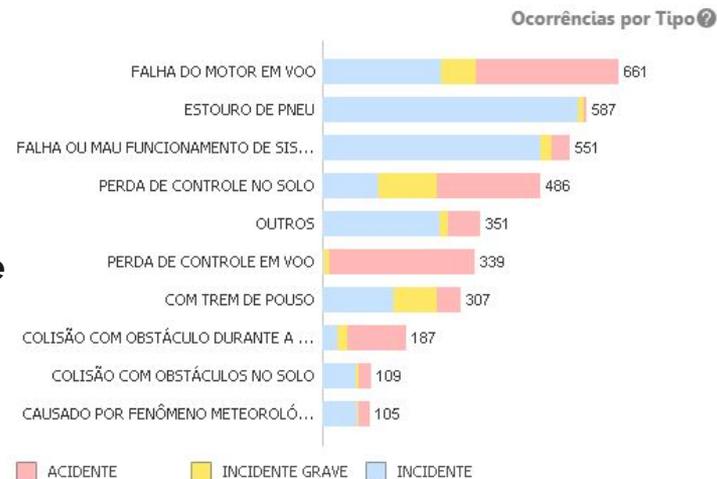
51,6%

de acidentes e incidentes em  
situação de pousos e  
decolagens

12%

de acidentes e incidentes  
representados por perda de  
controle no solo

Nos últimos 10 anos, segundo o CENIPA  
(Centro de investigação e prevenção de Acidentes Aeronáuticos)



# Justificativa

## Aumento histórico de peso das aeronaves

- Em busca de maior eficiência energética, **MAIOR** carga das rodas e pressão dos pneus
- Aumento de **DESGASTE** da pista

## Recomendações da ICAO

ANEXO 14 - VOLUME I - Capítulos 3 e 10

- Construção da pista **NÃO** deve prejudicar o atrito;
- Pista **DEVE** prover um bom atrito, mesmo quando molhada;
- **TODAS** as superfícies das áreas onde há movimentação de aeronaves devem ser inspecionadas e monitoradas como parte de manutenção ( corretiva e preventiva);
- A medida de atrito da pista deve ser feita **PERIODICAMENTE**;
- Devem ser tomadas ações **CORRETIVAS** quando parte ou toda a pista não atender ao critérios;
- Neve, gelo, água parada, lama, pó, areia, óleo, borracha e outros **CONTAMINANTES** devem ser retirados rapidamente para minimizar acúmulo.



# ÍNDICE

---

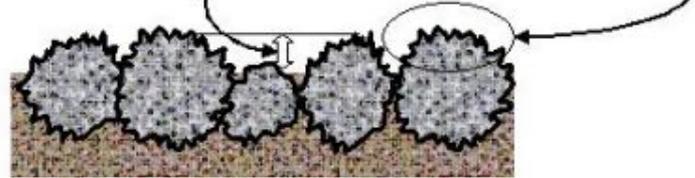
- Justificativa
- **Conceitos básicos**
- Histórico
- Métodos e equipamentos

# Textura

---

Macrotextura - representada pela altura média (mm) do "relevo" da superfície

Microtextura - associada à superfície do agregado: lisa ou áspera



## ● Microtextura

- Depende da textura de **CADA UM** dos agregados;
- “o conjunto de desvios da superfície de um pavimento em relação a uma superfície verdadeiramente plana, com dimensões características de comprimento de onda e amplitude menores que 0,5 mm” (ASTM E 867).

## ● Macrotextura

- Depende da textura do **CONJUNTO** de agregados;
- Tem muito a ver com a drenagem;
- “o conjunto de desvios da superfície de um pavimento em relação a uma superfície verdadeiramente plana, com dimensões características de comprimento de onda e amplitude que variam de 0,5 mm até uma dimensão que não mais afete a interação pneu-pavimento” (ASTM E 867).

## ● Megatextura

## ● Irregularidade

# Interações Pneu-Pavimento



# Atrito pneu-pavimento

## Função de três fenômenos

- **Histerese** da banda de rodagem do pneu, isto é, perda de energia cinética pela deformação viscoelástica dos pneus, que ocorre devido à aspereza da superfície do pavimento; Está relacionado com a **MACROTEXTURA**.
- **Adesão** entre as superfícies de contato, que provém das forças intermoleculares das superfícies; Está relacionado com a **MICROTEXTURA**.
- Perda de energia devido ao **desgaste** da banda de rodagem do pneu, por meio do “arrancamento” de partículas do pneu na superfície de contato com o pavimento; Está relacionado com a **IRREGULARIDADE**.

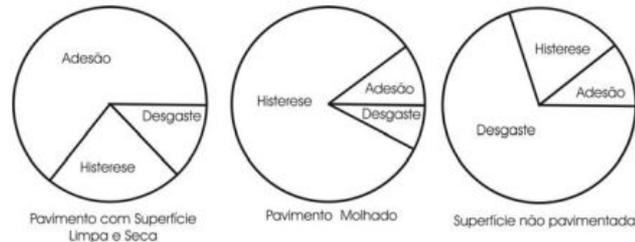
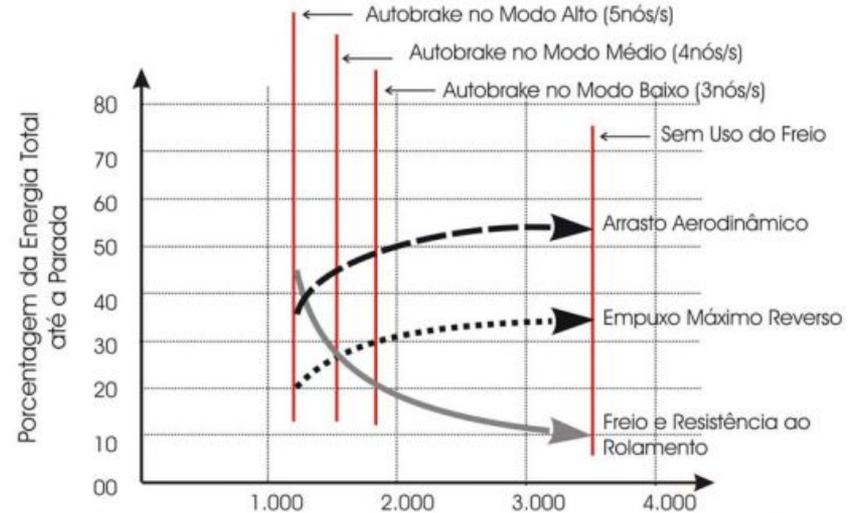
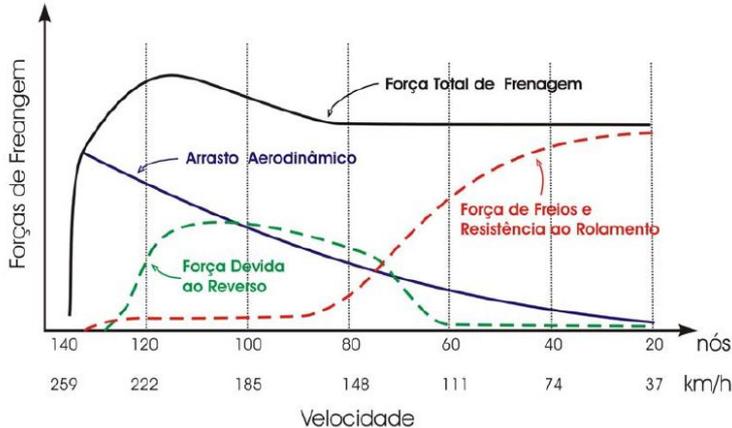


Figura 3.12 Participação da adesão, histerese e desgaste no atrito de deslizamento (Adaptado de Andersen, 1999)

# Atrito pneu-pavimento

## Outras variáveis

- Características dos Pneus
- Temperatura
- Velocidade de deslocamento
- “Contaminantes”
  - Água, gelo, neve, borracha;
  - Derrapagem -> ACIDENTES



Distância de Parada (m) em uma Pista Contaminada com Água

Figura 1.3- Participação dos dispositivos de desaceleração de uma aeronave a jato na energia total dissipada até a parada e o efeito sobre a distância de parada. Em condições de Máximo Peso de Pouso, aproximação na Velocidade de Referência, pista contaminada com 6,3 mm de água, ao nível do mar, pressão e temperatura padrão (FSF ALAR, 2000).

# No fim das contas o que temos que saber é...

Balancar a micro e macrotextura de forma a impedir hidroplanagem e favorecer os atritos!  
(Sem criar um desgaste excessivo)

---

# ÍNDICE

---

- Justificativa
- Conceitos Básicos
- **Histórico**
- Métodos e equipamentos

# Histórico

---

- 1920 - Primeira vez que há a preocupação com atrito na pista aeroporto de Le Bourget, em Paris
- 1946 - Medição do atrito com método Kollerud
- Final dos anos 40 - Desenvolvimento do método Tapley
- Início dos anos 50 - Utilização do deslizômetro para medição contínua do atrito
- Final dos anos 60 - Desenvolvimento do SAAB Friction Tester
- Primeira forma de informar as condições de atrito da pista - Desenvolvida pela autoridade do aeroporto de Bromma
  - Divisão da pista em três trechos (A, B e C)
  - Eram utilizadas as definições BOM, MÉDIO e POBRE para informar a condição de atrito

# Histórico

---

- Distribuição de um questionário para os pilotos avaliarem as condições de frenagem e controle da aeronave para diversas pistas com gelo ou neve
- 1962 - Yager desenvolveu a técnica do grooving
- Entre 1969 e 1972 - Realizada uma pesquisa sobre a aplicação do grooving nas pistas dos aeroportos
- Por conta da preocupação com as condições de pouso e decolagem em pistas com gelo neve ou água, houve um programa com parceria da NASA, Transport Canada e FAA
  - Joint Winter Runway Friction Program Accomplishments
    - Desenvolveu-se o IRFI (International Runway Friction Index)

## Forma de divulgação padronizada

<b>Atrito Medido</b>	<b>Ação de Frenagem Estimada</b>	<b>Código</b>
maior ou igual a 0,40	Boa	5
0,36 a 0,39	Média a Boa	4
0,30 a 0,35	Média	3
0,26 a 0,29	Média a Pobre	2
menor ou igual a 0,25	Pobre	1

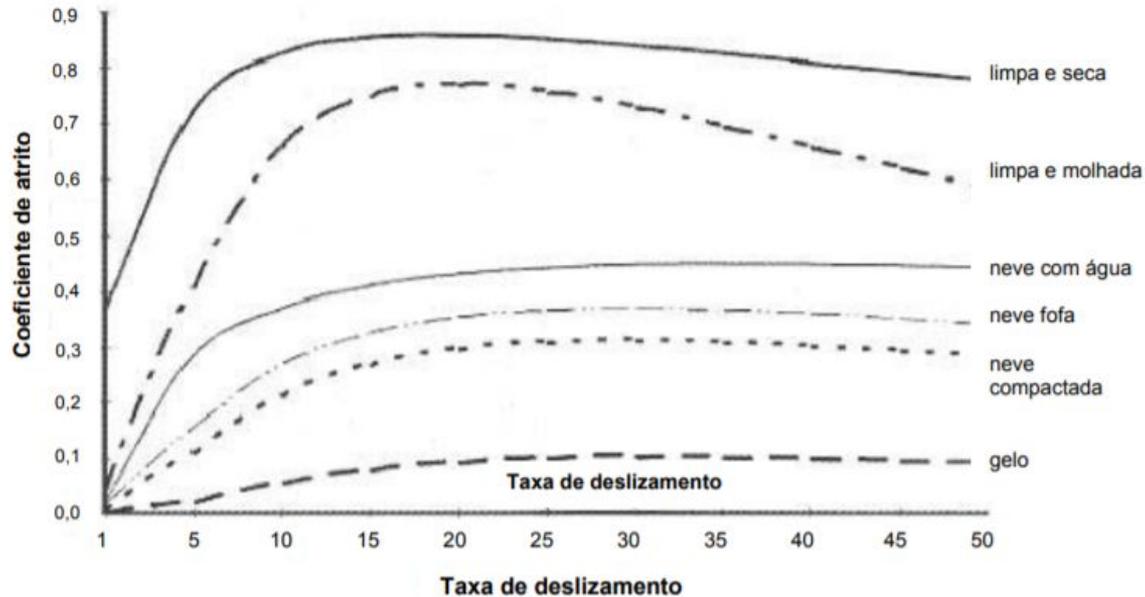
Fonte: Anexo-14 (ICAO, 2004)

# Grooving

---



# Influência das condições de pista no coeficiente de atrito



# International Friction Index - IFI

—

# IFI - International Friction Index

- Originou-se de uma pesquisa organizada pela PIARC - Permanent International Association of Road Congress
- Equipamentos e métodos de diversos países foram estudados
  - 47 equipamentos de medição de 16 países
  - 33 parâmetros de textura
  - 34 parâmetros de atrito
- Relaciona atrito com velocidade de deslocamento
- Permite estimar a constante de velocidade ( $S_p$ ) e o atrito a 60 km/h ( $F_{60}$ )
  - Determina o IFI de um pavimento
- É preciso realizar uma medida de atrito e uma de textura

# IFI - International Friction Index

$$Sp = a + b.Tx$$

$$FR_{60} = FRS.e^{(S-60)/Sp}$$

$$F_{60} = A + B.FR_{60} + C.Tx$$

Tabela 13 – Limites IFI (DNIT, 2006)

Parâmetro $F_{60}$	
péssimo	< 0,06
ruim	0,06 a 0,12
regular	0,13 a 0,16
bom	0,17 a 0,30
ótimo	> 0,30

Tabela 14 – Limites IFI (APS, 2006)

Parâmetro $F_{60}$	
péssimo	< 0,05
muito ruim	0,06 a 0,08
ruim	0,09 a 0,11
regular	0,12 a 0,14
bom	0,15 a 0,21
muito bom	0,22 a 0,35
ótimo	> 0,35

# IFI - International Friction Index

Tabela 16 – Constantes para o cálculo de  $F_{60}$  (APS, 2006)

Características	Equipamento	S	A	B	C
<i>Pneus Lisos</i>					
Roda Bloqueada	ASTM E-274	65	0,045	0,925	0
	LCPC Skid Trailer	60	0.002	1,008	0
Roda Parcialmente Bloqueada	OSCAR a 86%	52	-0,03	0,864	0
	OSCAR a 20%	12	0,119	0,643	0
Roda Oblíqua	Komatsu Skis Trailer	10	0,042	0,849	0
	DWW Trailer	43	0,019	0,868	0
Roda Oblíqua	Griptester	9,4	0,082	0,91	0
	Stradograph	12,5	0,054	0,77	0
	Odolograph Wallon	12,9	0,113	0,729	0
	Odolograph CRR	20,5	0,113	0,746	0
	SCRIM Flemish	20,5	0,049	0,967	0
	SCRIM CEDEX	20,5	0,019	0,813	0
	SCRIM MOPT	20,5	0,032	0,873	0
	SCRIM SRM	20,5	0,017	0,85	0
	SCRIM GEOCISA	20,5	0,021	0,928	0
	SCRIM	20,5	-0,006	0,862	0
Roda Oblíqua	SUMMS	20,5	0,002	0,987	0
	SRIMTEX	17,1	0,033	0,872	0

Tabela 16 – Constantes para o cálculo de  $F_{60}$  (APS, 2006)

Características	Equipamento	S	A	B	C
<i>Pneus com ranhuras</i>					
Roda Bloqueada	Stuttgarter Reibungsmesser	60	0,022	0,05	0,082
	Skiddometer	60	0,026	0,504	0,099
	Stuttgarter Reibungsmesser	60	-0,072	0,767	0,086
	ASTM E-274	65	-0,023	0,607	0,098
Roda Parcialmente Bloqueada	Friction Tester	60	-0,025	0,807	0,068
	Stuttgarter Reibungsmesser	12	0,141	0,323	0,074
	Skiddometer	12	0,03	0,918	-0,014
	BV-11	12	0,04	0,856	-0,016
Roda Bloqueada	Stuttgarter Reibungsmesser	12	0,02	0,867	-0,006
<i>Equipamentos com Sapatas</i>					
Estáticos	DF Tester a 60 km/h	60	-0,034	0,771	0
	DF Tester a 20 km/h	20	0,081	0,732	0
	Pendulum Tester BPT	10	0,056	0,008	0
	Pendulum Tester SRT	10	0,044	0,01	0

# ÍNDICE

---

- Justificativa
- Conceitos básicos
- Histórico
- **Métodos e equipamentos**

# Medidas de Atrito

---

# Métodos e equipamentos

1. Estático
  - a. Pêndulo Britânico
2. Dinâmicos (recomendação da ICAO)
  - a. Mu-meter Trailer
  - b. Skiddometer Trailer
  - c. Surface Friction Tester Vehicle
  - d. Runway Friction Tester Vehicle
  - e. TATRA Friction Tester Vehicle
  - f. GripTester Trailer

# Pêndulo Britânico

Muito utilizado em todo o mundo pelo baixo custo e facilidade de operação.

Placa de borracha no extremo do pêndulo tangencia o pavimento.

Determinação de uma medida escalar correspondente ao Valor de Resistência à Derrapagem (VRD) ou British Pendulum Number (BPN) de um pneu padrão derrapando sobre o pavimento a 48 km/h.

Segundo o DNIT, o mínimo aceitável é VDR igual a 55.

A ARTESP estabeleceu as seguintes classes de microtextura:



Classificação	Limites
perigosa	< 25
muito lisa	25 – 31
lisa	32 – 39
insuficientemente rugosa	40 – 46
mediamente rugosa	47 – 54
rugosa	55 – 75
muito rugosa	> 75

# Mu-meter Trailer

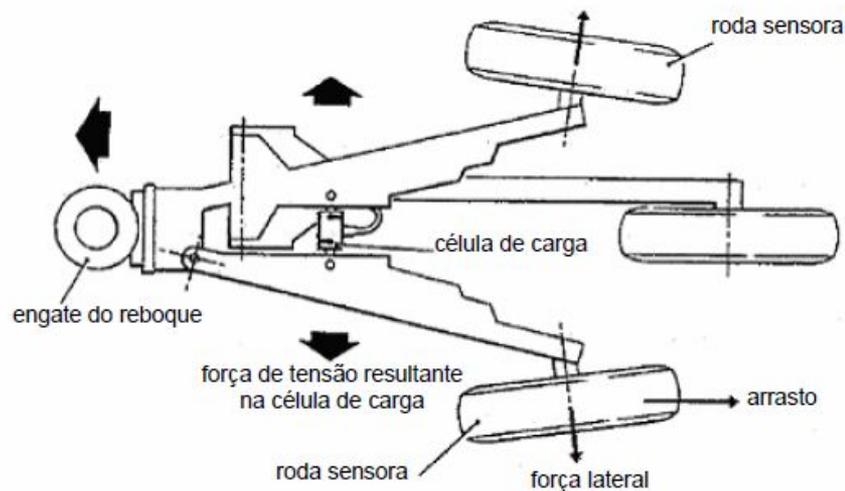
Equipamento mais utilizado no Brasil.

Rodas laterais com inclinação de  $7,5^\circ$  (com relação à longitudinal), o que produz uma taxa de escorregamento de 13%.

Roda traseira para a estabilização do movimento e medição da distância percorrida.

As forças de tensão resultantes na célula de carga, junto com a distância percorrida, são lidas em tempo real e enviadas para um computador dentro do veículo rebocador.

Nível de manutenção: valor de atrito igual a 0,5



# Parâmetros de atrito

CAA

Civil Aviation Authority

Equipamento	Pista nova	Nível de manutenção	Nível mínimo admissível
Mu-meter	0,72	0,57	0,50
Griptester	0,80	0,63	0,55

ICAO

Anexo 14 da Convenção Internacional de Aviação Civil

Equipamento	Tipo de pneu	Pressão no pneu (kPa)	Velocidade de teste (km/h)	Pista nova	Nível de manutenção	Nível mínimo admissível
Mu-meter	A	70	65	0,72	0,52	0,42
	A	70	95	0,66	0,38	0,26
Skkidometer	B	210	65	0,82	0,60	0,50
	B	210	95	0,74	0,47	0,34
Surface Friction	B	210	65	0,82	0,60	0,50
Tester Vehicle	B	210	95	0,74	0,47	0,34
Runway Friction	B	210	65	0,82	0,60	0,50
Tester Vehicle	B	210	95	0,74	0,54	0,41
TATRA Friction	B	210	65	0,76	0,57	0,48
Tester Vehicle	B	210	95	0,67	0,52	0,42
Griptester	C	140	65	0,74	0,53	0,43
	C	140	95	0,64	0,36	0,24

# Parâmetros de atrito

ANAC  
Agência Nacional de Aviação Civil

Faixas [1]	Média de pousos diários de aeronaves de asa fixa com motor à reação, na cabeceira predominante, no último ano [2]	Frequência de medições de atrito [3]
1	Menos de 15	Cada 360 dias
2	16 a 30	Cada 180 dias
3	31 a 90	Cada 90 dias
4	91 a 150	Cada 60 dias
5	151 a 210	Cada 30 dias
6	Mais de 210	Cada 15 dias

FAA  
Federal Aviation Administration

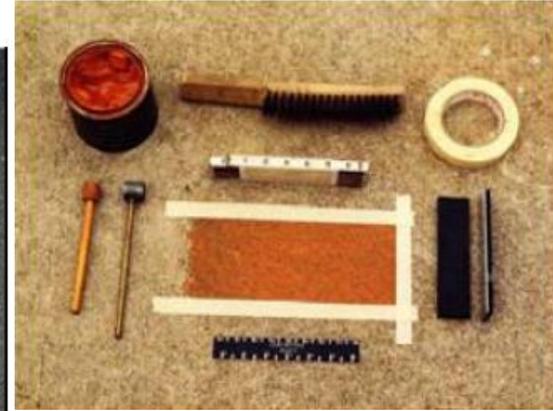
Pousos diários de aeronaves a reação	Frequência mínima de medição
menos de 15	1 ano
16 a 30	6 meses
31 a 90	3 meses
91 a 150	1 mês
151 a 210	2 semanas
mais que 210	1 semana

# Medidas de Textura

—

# Métodos e equipamentos

1. Método volumétrico (ANAC)
  - a. Mancha de areia
  - b. Mancha de graxa
2. Perfilômetros
3. Drenômetros
  - a. Drenômetro LTP-EPUSP
4. Classificação de imagens digitais



# Parâmetros de textura



ANAC

Agência Nacional de Aviação Civil

- Recomenda ensaios volumétricos e estipula que a profundidade média da macrotextura do pavimento de uma pista de pouso e decolagem não deverá ser inferior a 0,50 mm.
- A profundidade média da macrotextura recomendada para um pavimento novo é 1,0 mm

ICAO

International Civil Aviation Organization

- Recomenda textura média mínima de 0,625 mm para pistas em uso.
- Recomenda uma textura de no mínimo 1,0 mm para projeto de revestimento de pistas novas

FAA

Federal Aviation Administration

- Para pavimentos existentes:
  - quando profundidade média da textura cai para valores abaixo de 1,14 mm → Realizar medições junto com atrito
  - quando profundidade média está entre 0,76 mm e 0,40 mm → Deve-se iniciar planos para corrigir no prazo de 1 ano
  - quando profundidade é menor do que 0,25 mm → Corrigir deficiências num prazo de 2 meses
- Recomenda uma textura de no mínimo 1,14 mm para pavimentos novos

---

**OBRIGADO**

# BIBLIOGRAFIAS

ICAO (2012) Runway Surface Condition Assessment, Measurement and Reporting. Cir 329. AN/191. Internacional Civil Aviation Organization. Montreal, Canada

RODRIGUES FILHO, Oswaldo Sansone. Características de aderência de revestimentos asfálticos aeroportuários. Estudo de caso do aeroporto internacional de São Paulo/Congonhas. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.  
doi:10.11606/D.3.2006.tde-01122006-142419. Acesso em: 2018-04-04.

GUERREIRO MATTOS, João Rodrigo. Avaliação de aderência pneu-pavimento e tendências de desempenho para a rodovia BR-290/RS. 2009. Dissertação (Pós graduação em Engenharia de Civil) - Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

Aerodrome Design and Operations. Annex 14, Volume 1, to the Conventions on International Civil Aviation, International Civil Aviation Organization, Montreal, Canada, February 2013.

BERNUCCI, L. L. B.; MOTTA, L. M. G. da; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. (2007) Pavimentação asfáltica - formação básica para engenheiros. PETROBRÁS/ABEDA, Rio de Janeiro. Acesso em 2018-03-28.

MOINHO, J. C.; ARAÚJO, V. S. () Avaliação a Macrotextura de Pista de Pouso e Decolar em do Aeroporto Internacional de Boa Vista-RR Atlas Brasil Catanhede. RTC- UFRR, Boa Vista.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1996681417300068>