



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RENATA DE SOUZA SALES

**ANÁLISE DO PROCESSO DE REMOÇÃO DE BORRACHA EM REVESTIMENTOS
AEROPORTUÁRIOS: INFLUÊNCIA NA ADERÊNCIA PNEU-PAVIMENTO**

FORTALEZA

2019

RENATA DE SOUZA SALES

ANÁLISE DO PROCESSO DE REMOÇÃO DE BORRACHA EM REVESTIMENTOS
AEROPORTUÁRIOS: INFLUÊNCIA NA ADERÊNCIA PNEU-PAVIMENTO

Projeto de Graduação apresentado à
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Heber Lacerda
de Oliveira.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S155a Sales, Renata de Souza.

Análise do processo de remoção de borracha em revestimentos aeroportuários : influência na aderência pneu-pavimento / Renata de Souza Sales. – 2019.
101 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Francisco Heber Lacerda de Oliveira.

1. Aeroportos. 2. Macrotextura. 3. Coeficiente de atrito. 4. Remoção de borracha. 5. Revestimentos. I. Título.

CDD 620

RENATA DE SOUZA SALES

ANÁLISE DO PROCESSO DE REMOÇÃO DE BORRACHA EM REVESTIMENTOS
AEROPORTUÁRIOS: INFLUÊNCIA NA ADERÊNCIA PNEU-PAVIMENTO

Projeto de Graduação apresentado à
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de Engenheira
Civil.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Heber Lacerda
de Oliveira.

Aprovada em: 19/11/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Heber Lacerda de Oliveira.
(Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profª. Dra. Suelly Helena de Araújo Barroso
Universidade Federal do Ceará (UFC)

MSc. Lucius de Albuquerque Prado
Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC)

A Deus.

Aos meus pais, Ângela e Wagner.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Ângela e Wagner, por não terem medido esforços para que eu pudesse me deslocar até Fortaleza e realizar o sonho de ingressar no ensino superior, neste curso. Agradeço pelos incentivos ao longo da vida a fim de que eu sempre me mantivesse firme nos estudos, e por acreditarem no poder de transformação da educação.

Agradeço a minha irmã, Kelly, por toda paciência frente a tantos pedidos que a fiz durante esses anos e pelo amparo que sempre me deu ao longo dessa jornada. Ao meu irmão, Fagner, que também me ajudou a enfrentar diversas dificuldades ao longo dessa caminhada. A minha avó, Jota, que sempre me auxiliou. Ao meu avô, Luiz, que sempre foi motivo de inspiração na minha vida.

Ao professor Heber, pela orientação, confiança e atenção. Por ter sido um orientador tão presente e paciente. Agradeço por todo o incentivo ao longo dessa caminhada, por todas as mensagens de apoio e por ter dividido tanto conhecimento comigo.

Ao João Vitor, amigo que sempre acreditou em mim e me incentivou.

Aos amigos que adquiri ao longo dessa graduação, em especial a Beliza, amiga com quem dividi além de uma sala de aula, um apartamento e que sempre foi paciente comigo. Ao Harley que esteve presente em tantos momentos e que sempre mostrou ser um bom amigo. Ao Talys com quem fiz tantos trabalhos e que sempre foi tão paciente e amigo em todos os momentos. Ao Gabriel, Diego, João Lucas, Lucas Moreira e Matheus Pires, que ajudaram a tornar os momentos de produção deste trabalho no GTTEMA mais descontraídos. À Livia, Aldaianny, Isabel, Luana e Écio, com quem dividi não apenas trabalhos em equipe, mas bons momentos ao longo desse curso. À Andrezza e ao Mateus Lira pelos vários momentos de apoio e pelas palavras de incentivo.

À professora Suelly Barroso e ao Lucius Prado da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) por terem aceitado participar da banca examinadora.

À Superintendência de Infraestrutura Aeroportuária da ANAC por ter disponibilizado os dados usados neste trabalho.

A todos os professores da UFC que contribuíram para a minha formação como profissional e como ser humano.

A Deus, pela vida, por todas as bênçãos alcançadas e por sempre me guiar até aqui.

RESUMO

O aumento da demanda por transporte aéreo no Brasil ocasiona atenção maior acerca da segurança operacional. A aderência pneu-pavimento é um fator essencial a segurança das operações de pouso e decolagem, sendo constituída pela textura do pavimento e por sua vez pelo coeficiente de atrito. A macrotextura de um revestimento aeroportuário está sujeita ao acúmulo de contaminantes, como a borracha provinda dos pneus das aeronaves, que prejudica diretamente a aderência pneu-pavimento, ao diminuir o coeficiente de atrito do revestimento. Dessa forma, faz-se necessária a realização de procedimentos de remoção de borracha acumulada no revestimento, com a finalidade de reestabelecer as condições de aderência. Diante disso, surge a necessidade do estudo da eficiência do processo de remoção de borracha, de maneira a analisar sua influência sobre a aderência pneu-pavimento. Neste trabalho foram analisadas as pistas de pouso e decolagem de três aeroportos brasileiros, constituídas de três diferentes revestimentos, Concreto Asfáltico, *Grooving* e Camada Porosa de Atrito. Analisou-se a profundidade de macrotextura e o coeficiente de atrito disponibilizados nos relatórios de medições da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), de forma a observar se houve aumento nos valores após realizado o processo de remoção de borracha e o desempenho da segurança operacional ao longo do tempo. Além disso, foram analisadas as frequências de ocorrência de remoção de borracha acumulada, com a finalidade de verificar se a frequência mínima recomendada pela ANAC é seguida. Por fim, realizou-se uma comparação entre as pistas de pouso e decolagem dos três aeroportos e verificou-se que a Camada Porosa de Atrito mostrou melhor desempenho diante da remoção do acúmulo de borracha e que o parâmetro profundidade da macrotextura apresentou aumento ao longo do tempo, de forma a se mostrar influenciado pelo processo de remoção.

Palavras-chave: Aeroportos. Macrotextura. Coeficiente de atrito. Remoção de borracha. Revestimentos.

ABSTRACT

The increased demand for air transport in Brazil raises concerns regarding operational safety. Adherence between tire and surface layer of airport pavements is an essential factor for successful landing and take-off operations, being applied by the pavement texture and the runway friction. The macrotexture of an airport pavement is subject to the deposition of contaminants such as rubber from aircraft tires. This accumulation impairs directly to the adherence between tire and surface since decreases the runway friction. Thus, it is necessary to perform procedures for the removal of accumulated rubber on the pavement, with the purpose of restoring the adherence conditions. Given this, increase the need to study the process of rubber removal, the way to analyze its direct influence on adherence. They were analyzed as runways of three airports, consisting of three different runway surfaces, Porous Friction Course, Grooving and Asphalt Concrete. Analyze the macrotexture depth values and the friction provided by ANAC measurement reports to see if the values increased after the rubber removal process. Also, they were analyzed as accumulated rubber removal frequencies with the minimum frequency check recommended by ANAC. Finally, a comparison was made between the runways of the three airports and it was found that the Porous Friction Course (PFC) showed better performance when removing the rubber accumulation and that the macrotexture depth increased over time to be influenced by the removal process.

Keywords: Airports. Macrotexture. Friction. Rubber Removal. Runway Surfaces.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mecanismos de atrito durante o processo de frenagem	19
Figura 2 – Grip Tester.....	22
Figura 3 – Ilustração de microtextura e macrotextura.....	22
Figura 4 – Ilustração das classes de macrotextura e microtextura	23
Figura 5 – Ensaio da mancha de areia	24
Figura 6 – Pista do Aeroporto Tancredo Neves	26
Figura 7 – Depósitos de borracha no KIA.....	27
Figura 8 – Microscopia dos depósitos de borracha da pista do KIA.....	27
Figura 9 – Realização da remoção de borracha por meio do hidrojateamento a alta pressão ..	29
Figura 10 – Camada Porosa de Atrito.....	33
Figura 11 – Trecho em CA seguido por trecho em CPA	33
Figura 12 – Pista do Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont com revestimento em CPA.....	34
Figura 13 – Execução de grooving no aeroporto de Joinville	35
Figura 14 – Afastamento do pneu (em hidroplanagem) em relação à superfície da pista versus a profundidade da lâmina d'água na pista.	36
Figura 15 – Resultados obtidos para cada pavimento	37
Figura 16 – Vista aérea do Aeroporto Internacional de Fortaleza	40
Figura 17 – Vista aérea do Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont.....	42
Figura 18 – Vista aérea do Aeroporto de São Paulo/Congonhas.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores mínimos estabelecidos pela ANAC para o coeficiente de atrito.....	20
Tabela 2 – Frequência mínima das medições de atrito.....	20
Tabela 3 – Locais de medição do coeficiente de atrito.....	21
Tabela 4 – Frequência mínima das medições de macrotextura.....	25
Tabela 5 – Classificação da macrotextura.....	25
Tabela 6 – Frequência mínima de remoção de borracha em aeródromos.....	28
Tabela 7 – Frequências mínimas de medições de coeficiente de atrito, macrotextura e procedimentos de remoção de borracha acumulada a serem seguidas pelo SBFZ de acordo com a ANAC (2019).....	39
Tabela 8 – Frequências mínimas de medições de coeficiente de atrito, macrotextura e procedimentos de remoção de borracha acumulada a serem seguidas pelo SBRJ de acordo com a ANAC (2019).....	43
Tabela 9 – Frequências mínimas de medições de coeficiente de atrito, macrotextura e procedimentos de remoção de borracha acumulada a serem seguidas pelo SBSP de acordo com a ANAC (2019).....	44
Tabela 10 – Frequência de profundidades de macrotextura segundo classificação da ANAC (2019).	50
Tabela 11 – Remoções de borracha que não propiciaram aumento na profundidade da macrotextura.....	52
Tabela 12 – Remoções de borracha que não propiciaram aumento no coeficiente de atrito....	56
Tabela 13 – Frequência de profundidades de macrotextura segundo classificação da ANAC (2019).	60
Tabela 14 – Remoções de borracha que não propiciaram aumento na profundidade da macrotextura.....	62
Tabela 15 – Remoções de borracha que não propiciaram aumento no coeficiente de atrito....	66
Tabela 16 – Remoções de borracha que não propiciaram aumento no coeficiente de atrito....	71
Tabela 17 – Coeficiente angular da reta dos gráficos de macrotextura.....	74
Tabela 18 – Parâmetros estatísticos da macrotextura.....	75
Tabela 19 – Coeficiente angular da reta dos gráficos de coeficiente de atrito.	76
Tabela 20 – Parâmetros estatísticos do coeficiente de atrito.....	78
Tabela 21 – Eficiência das operações realizadas nos aeroportos.....	78

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Profundidade da macrotextura em todo o comprimento da PPD do Aeroporto Internacional de Fortaleza	51
Gráfico 2 – Profundidade média da macrotextura na PPD do Aeroporto Internacional de Fortaleza	53
Gráfico 3 – Coeficiente de atrito em todo o comprimento da PPD no Aeroporto Internacional de Fortaleza.....	55
Gráfico 4 – Coeficiente de atrito por lado da PPD no Aeroporto Internacional de Fortaleza..	57
Gráfico 5 – Coeficiente de atrito por terços na PPD do Aeroporto Internacional de Fortaleza	58
Gráfico 6 – Profundidade da macrotextura em todo o comprimento da PPD do Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont	61
Gráfico 7 – Profundidade média da macrotextura na PPD do Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont.....	63
Gráfico 8 – Coeficiente de atrito em todo o comprimento da PPD do Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont.....	65
Gráfico 9 – Coeficiente de atrito por terços na PPD do Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont.....	67
Gráfico 10 – Coeficiente de atrito por lado da PPD no Aeroporto do Rio de Janeiro/ Santos Dumont	68
Gráfico 11 – Coeficiente de atrito em todo o comprimento da PPD do Aeroporto de São Paulo/Congonhas.....	70
Gráfico 12 – Coeficiente de atrito por lado da PPD no Aeroporto de São Paulo/Congonhas..	72
Gráfico 13 – Coeficiente de atrito por terço da PPD no Aeroporto de São Paulo/Congonhas.	73
Gráfico 14 – Coeficiente angular da reta dos gráficos de profundidade média de macrotextura.....	75
Gráfico 15 – Coeficiente angular da reta dos gráficos de coeficiente de atrito por terços.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CA	Concreto Asfáltico
CPA	Camada Porosa de Atrito
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i>
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
KIA	<i>Kaohsiung International Airport</i>
NOTAM	<i>Notice to AirMen</i>
PPD	Pista de Pouso e Decolagem
SBFZ	Código ICAO para o Aeroporto Internacional de Fortaleza
SBRJ	Código ICAO para o Aeroporto Santos Dumont/Rio de Janeiro
SBSP	Código ICAO para o Aeroporto de Congonhas/São Paulo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Problema da Pesquisa	15
1.2	Justificativa	15
1.3	Objetivos	16
1.4	Estrutura do Trabalho	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Aderência pneu-pavimento	18
<i>2.1.1</i>	<i>Coeficiente de atrito</i>	18
<i>2.1.2</i>	<i>Textura do pavimento</i>	22
2.2	Contaminantes	26
2.3	Processos de remoção de borracha acumulada	28
<i>2.3.1</i>	<i>Hidrojateamento a alta pressão</i>	29
<i>2.3.2</i>	<i>Remoção através de produtos químicos</i>	30
<i>2.3.3</i>	<i>Remoção por Impacto de Alta Velocidade</i>	31
<i>2.3.4</i>	<i>Remoção Mecânica</i>	32
2.4	Revestimentos utilizados nos aeródromos brasileiros	32
<i>2.4.1</i>	<i>Camada Porosa de Atrito – CPA</i>	32
<i>2.4.2</i>	<i>Grooving</i>	35
3	PROCEDIMENTOS PARA COLETA E ANÁLISE DOS DADOS	38
3.1	ÁREA DE ESTUDO	38
<i>3.1.1</i>	<i>Aeroporto Internacional de Fortaleza– SBFZ</i>	38
<i>3.1.2</i>	<i>Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont – SBRJ</i>	41
<i>3.1.3</i>	<i>Aeroporto de São Paulo/Congonhas – SBSP</i>	43
3.2	COLETA DE DADOS	46
3.3	TABULAÇÃO DOS DADOS	46
3.4	CÁLCULO DOS PARÂMETROS	47
3.5	ELABORAÇÃO DOS GRÁFICOS DE DISPERSÃO	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
4.1	Aeroporto Internacional de Fortaleza – SBFZ	49
<i>4.1.1</i>	<i>Macrotextura – SBFZ</i>	49
<i>4.1.2</i>	<i>Coeficiente de Atrito – SBFZ</i>	54
4.2	Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont – SBRJ	59

4.2.1	<i>Macrotextura – SBRJ</i>	59
4.2.2	Coeficiente de atrito – SBRJ	64
4.3	Aeroporto de São Paulo/Congonhas – SBSP	69
4.4	Análise comparativa geral entre os três aeroportos	74
4.4.1	<i>Macrotextura</i>	74
4.4.2	<i>Coeficiente de atrito</i>	76
4.4.3	<i>Eficiência das medições de coeficiente de atrito, macrotextura e procedimentos remoção de borracha acumulada</i>	78
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	79
5.1	Principal contribuição do trabalho	79
5.2	Principais constatações	79
5.3	Principais limitações	81
5.4	Sugestões para trabalhos futuros	82
	REFERÊNCIAS	83
	APÊNDICE A – DATAS E INTERVALOS DAS MEDIÇÕES DE MACROTEXTURA E REMOÇÕES DE BORRACHA NA PPD DO SBFZ	88
	APÊNDICE B – RESULTADOS DE MÉDIA DA MACROTEXTURA GERAL E POR TERÇOS	89
	APÊNDICE C – DATAS E INTERVALOS DAS MEDIÇÕES DE COEFICIENTE DE ATRITO E REMOÇÕES DE BORRACHA NA PISTA DO SBFZ	90
	APÊNDICE D – RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE COEFICIENTE DE ATRITO NO SBFZ	91
	APÊNDICE E – DATAS E INTERVALOS DAS MEDIÇÕES DE MACROTEXTURA E REMOÇÕES DE BORRACHA NA PISTA 02R/20L DO AEROPORTO DO RIO DE JANEIRO SANTOS DUMONT	92
	APÊNDICE F – RESULTADOS DE MÉDIA DA MACROTEXTURA GERAL E POR TERÇOS	93
	APÊNDICE G – DATAS E INTERVALOS DE MEDIÇÕES DE COEFICIENTE DE ATRITO E REMOÇÕES DE BORRACHA NA PPD DO AEROPORTO DO RIO DE JANEIRO/ SANTOS DUMONT	94
	APÊNDICE H – RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DO COEFICIENTE DE ATRITO NA PPD DO SBRJ	95
	APÊNDICE I – DATAS E INTERVALOS DE MEDIÇÕES DE COEFICIENTE DE	

ATRITO E REMOÇÕES DE BORRACHA ACUMULADA NA PPD DO AEROPORTO DE SÃO PAULO/CONGONHAS	96
APÊNDICE J – RESULTADOS DA MEDIÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO A 3M DO EIXO DA PPD DO AEROPORTO DE SÃO PAULO/CONGONHAS	96

1 INTRODUÇÃO

Desde o início de suas atividades, no final da década dos anos 20 do século passado, o transporte aéreo no Brasil passou por diversas modificações. A demanda por esse tipo de transporte tem crescido vertiginosamente, visto que o Brasil é um país de grande dimensão territorial e que realizar maiores deslocamentos em curtos períodos de tempo, com conforto e segurança, é um anseio constante daqueles que precisam viajar.

Com o aumento do número de voos no Brasil, também cresce a preocupação com a segurança das operações de pousos e decolagens. Acidentes aéreos podem estar relacionados a diversos aspectos e fatores contribuintes, dentre os quais Rodrigues Filho (2006) destaca: o fator humano, a aeronave, a infraestrutura e o que diz respeito às condições meteorológicas.

Pode-se afirmar que as fases mais críticas de um voo, no que se refere à sua segurança operacional, são as de pouso e decolagem. Problemas nessas etapas estão frequentemente relacionados à ineficácia da frenagem das aeronaves devido ao atrito deficiente dos revestimentos das pistas. Oliveira (2009) ressalta que as práticas de conservação e de restauração dos pavimentos aeroportuários, sobretudo dos que compõem as pistas de pouso e decolagem (PPD), contribuem substancialmente para a segurança de voo, pois envolvem as aeronaves, seus ocupantes e as cargas transportadas.

A aderência pneu-pavimento é essencial à segurança das operações de pouso e decolagem, e é composta pelo atrito entre o pneu e o pavimento e pela textura do revestimento. O atrito pode ser modificado por diversos fatores, dentre os quais: climáticos, o tempo e a ineficácia das ações de manutenção do pavimento. Sabe-se que o acúmulo de contaminantes nas PPD é um forte contribuinte para a redução do coeficiente de atrito. No Brasil destacam-se entre os contaminantes a água originada de chuvas, óleos e a borracha acumulada dos pneus de aeronaves durante as suas operações.

Dessa forma, tem-se na aderência pneu-pavimento um importante aspecto associado à segurança das operações de pousos e decolagens, sendo essa alcançada através de uma macrotextura adequada, de uma eficiente drenagem no pavimento e de processos de remoção de borracha acumulada sobre os revestimentos. O processo de remoção da borracha acumulada sobre as PPD consiste em preservar ou restaurar as condições de aderência dos revestimentos aeroportuários. Os operadores de aeródromos utilizam, no Brasil, mais comumente o processo de hidrojateamento a alta pressão na remoção de borracha, foco deste trabalho.

1.1 Problema da Pesquisa

Tendo em vista a atenção necessária com as operações de pouso e decolagem, é imprescindível o enfoque dos operadores de aeródromos em ações de manutenção ou reabilitação que tornem essas operações mais seguras. O uso da Camada Porosa de Atrito (CPA), mistura asfáltica composta por vazios interconectados, e *grooving*, ranhuras transversais ao eixo da pista, que objetivam melhorar a drenagem da água na superfície do pavimento, quando comparados aos tipos de pavimentos tradicionais, melhoram a macrotextura e o coeficiente de atrito das PPD que, por consequência, aumentam a aderência pneu-pavimento. No entanto, devido aos vazios da CPA e as ranhuras do *grooving*, esses revestimentos possibilitam o acúmulo de borracha, provinda dos pneus das aeronaves, em sua superfície, fator que prejudica a aderência pneu-pavimento.

O processo de remoção da borracha acumulada sobre as PPD consiste em preservar ou restaurar as condições de aderência dos revestimentos aeroportuários. Em sua maioria, os processos de remoção de borracha no Brasil são realizados por meio do hidrojateamento a alta pressão, mas também podem ser utilizados produtos químicos associados ao jateamento de água, como detergentes biodegradáveis. No entanto, a depender da condição de conservação do revestimento, esse processo pode não surtir o efeito esperado a médio e longo prazos.

Portanto, percebe-se a necessidade da realização de pesquisas que verifiquem a relação entre um eficiente processo de remoção do acúmulo de borracha e a melhoria das condições de aderência em um revestimento aeroportuário. Ademais, é preciso que seja analisado cada tipo de revestimento de forma singular, de maneira que sejam consideradas suas peculiaridades e possíveis fatores que venham a interferir na eficiência operacional do processo de remoção de borracha.

1.2 Justificativa

Sabe-se que a aderência pneu-pavimento é essencial à segurança das operações de pouso e decolagem em aeroportos, bem como que uma efetiva aderência é alcançada por meio de macrotextura e do coeficiente de atrito adequados, de um eficiente processo de drenagem no pavimento e de eficientes processos de remoção de borracha acumulada sobre os revestimentos. Tem-se no processo de remoção de borracha uma atividade essencial em termos de manutenção preventiva e corretiva da aderência das PPD. No entanto, não há um

consenso entre as pesquisas existentes na área acerca da influência do processo de remoção de borracha sobre o coeficiente de atrito e a macrotextura, que compõem a aderência pneu-pavimento.

O processo de colmatação dos vazios do revestimento é potencializado tanto em pavimentos compostos de CPA quanto em revestimentos que apresentam *grooving*, devido às suas características. A *International Civil Aviation Organization* (ICAO, 2004) recomenda que a superfície dos pavimentos aeroportuários deve manter-se livre de quaisquer partículas soltas que possam causar danos à estrutura ou aos motores das aeronaves e prejudicar seu funcionamento e sistemas. Esses materiais desprendidos podem ser provenientes do desgaste do próprio pavimento, como também pode haver a presença de contaminantes no seu revestimento, como a borracha, por exemplo.

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2019) determina a frequência mínima de medição do coeficiente de atrito e da macrotextura nas pistas dos aeroportos brasileiros e a frequência mínima da remoção do acúmulo de borracha, que dependem da média de pousos diário. Além disso, a ANAC (2019) também estabelece valores mínimos de manutenção os quais os operadores aeroportuários devem atender como forma de garantir a segurança das operações de pousos e decolagens em seus respectivos aeródromos

Dessa forma, faz-se necessário o estudo do processo de remoção da borracha acumulada, de maneira que seja analisada sua relação com o coeficiente de atrito e a macrotextura do revestimento, componentes da aderência pneu-pavimento. Ademais, é preciso que seja verificada a contribuição desse processo para que o coeficiente de atrito e a macrotextura atendam aos valores mínimos de manutenção estabelecidos pela ANAC, permitindo maior segurança operacional nos aeroportos brasileiros.

1.3 Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa é analisar a influência do processo de remoção da borracha acumulada em pistas de pouso e decolagem sobre a aderência pneu-pavimento em aeródromos brasileiros com revestimentos asfálticos distintos.

Como objetivos específicos, podem ser listados:

- a) Analisar qual tipo de pavimento aeroportuário, entre os estudados, possui melhor resposta ao processo de remoção de borracha acumulada;

- b) Verificar a existência de uma relação entre a remoção de borracha das pistas de pouso e decolagem e a melhoria da macrotextura e do coeficiente de atrito;
- c) Verificar o cumprimento da ANAC (2019), quanto à frequência de realização do processo de remoção de borracha e da frequência das medições de coeficiente de atrito e profundidade de macrotextura.

1.4 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos. Além deste capítulo introdutório, no Capítulo 2 é apresentada uma revisão da bibliografia, contendo informações essenciais acerca da aderência pneu-pavimento, dos contaminantes, dos processos de remoção de borracha acumulada e dos revestimentos utilizados nos aeródromos brasileiros. O Capítulo 3 descreve a metodologia empregada para a obtenção dos resultados da pesquisa. O Capítulo 4 apresenta os resultados acerca da análise dos valores de coeficiente de atrito e profundidade da macrotextura obtidos nos aeródromos selecionados quando submetidos ao processo de remoção de borracha acumulada. Por fim, no Capítulo 5 são expostas as conclusões obtidas com a realização deste trabalho, bem como sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será exposta uma revisão da bibliografia acerca do assunto em estudo, com o objetivo de compreender melhor as problemáticas e a fundamentação teórica que o envolve.

2.1 Aderência pneu-pavimento

As operações de pouso e decolagem seguras dependem, entre outros fatores, de uma eficiente aderência entre o pneu e o pavimento. Segundo APS (2006), a aderência pneu-pavimento consiste no limite de atrito desenvolvido entre o pneu e o pavimento que garante mobilidade e controle direcional dos veículos. A aderência do sistema pneu-pavimento é uma combinação de dois fatores: a textura do pavimento e o atrito pneu-pavimento.

2.1.1 Coeficiente de atrito

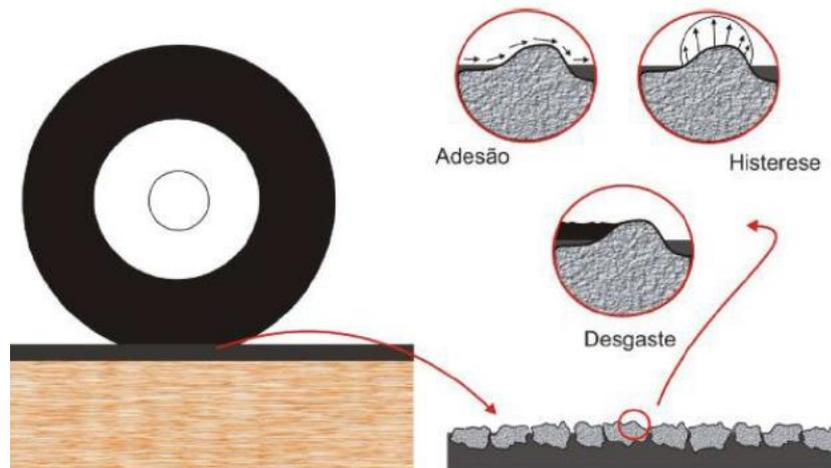
Segundo APS (2006), a força de atrito é definida como a força tangencial resistente que opera na interface entre dois corpos, resultante da força externa de um corpo que se movimenta ou tende a se mover sobre o outro. O atrito é de grande relevância para a segurança das aeronaves. Em aeródromos com pistas de extensão disponível próxima a distância operacional solicitada, o atrito corresponde a principal forma de parada do avião quando uma operação de pouso ou decolagem é interrompida. (SILVA, 2008).

Chen *et al.* (2013) analisou o efeito dos depósitos de borracha na PPD de concreto do Kaohsiung *International Airport* (KIA), em Taiwan. Por meio do estudo concluiu que o coeficiente de atrito da PPD é influenciado pelo local da medição e que as zonas de toque são aquelas que apresentaram valores abaixo dos recomendados pela ICAO (2002). Isso é um indicativo de que o coeficiente de atrito da PPD é influenciado pela presença de borracha acumulada no pavimento. As medições do coeficiente de atrito no KIA realizadas através do *Saab Surface Friction Tester* (SFT) mostraram que o coeficiente de atrito sofreu aumento de 0,3 após a realização da remoção de borracha na PPD pelo método do hidrojateamento.

De acordo com Andresen e Wambold (1999, *apud* Silva, 2008), o atrito que resulta de um deslocamento é produzido por meio do movimento relativo entre a banda de rodagem do pneu e a camada de rolamento, sendo provocado por três fenômenos: adesão,

histerese e desgaste, assim detalhados. Cada um desses fenômenos exerce influência sobre uma parcela do coeficiente de atrito, sendo representados e ilustrados na Figura 1.

Figura 1 – Mecanismos de atrito durante o processo de frenagem



Fonte: Silva (2008).

- a) Adesão: se caracteriza pelo surgimento de forças adesivas entre as moléculas do pneu e do revestimento, cuja intensidade é diretamente relacionada com o tempo de duração do contato e da velocidade em que ocorre o deslizamento, além do material que compõe a borracha do pneu e da microtextura do revestimento. Sofre influência na presença de contaminantes na pista, pois dificulta o contato do pneu com a superfície do revestimento, devido a separação que impõe entre eles.
- b) Histerese: diretamente ligada à macrotextura, em decorrência da deformação do pneu, quando esse desliza pelas irregularidades do revestimento. Não é influenciada pela presença de contaminantes, pois está diretamente ligada a velocidade do deslocamento, quando essa aumenta, a perda por histerese também aumenta. Em pavimentos com presença de contaminante torna-se essencial na ocorrência do atrito no deslocamento.
- c) Desgaste: caracterizado pelo desprendimento de partículas de borracha do pneu durante o contato com o revestimento, conhecido como emborrachamento da pista.

De acordo com a ANAC (2019), o valor do coeficiente de atrito é definido como a média aritmética dos valores obtidos a cada 100m, no mesmo lado e distância tendo como referência o eixo da pista de pouso e decolagem. A ANAC (2019) ainda estabelece os valores mínimos que o coeficiente de atrito deve atingir, que são expostos na Tabela 1, conforme o

tipo de equipamento utilizado na medição (coluna [1]), e algumas condições (colunas [2] a [5]). Admite-se ainda uma tolerância de 2,5% dos valores determinados. A ANAC (2019) ainda estabelece a frequência a qual as medições devem ser realizadas, considerando a média de pousos diários de acordo com a Tabela 2.

Tabela 1 – Valores mínimos estabelecidos pela ANAC para o coeficiente de atrito

Equipamento [1]	Pneu		Velocidade do ensaio (km/h) [4]	Profundidade da lâmina d'água simulada (mm) [5]	Coeficiente de atrito	
	Tipo [2]	Pressão (kPa) [3]			Nível de manutenção [6]	Nível mínimo [7]
Mu-meter	A	70	65	1,0	0,52	0,42
	A	70	95	1,0	0,38	0,26
Skiddometer	B	210	65	1,0	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,47	0,34
Surface friction tester vehicle	B	210	65	1,0	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,47	0,34
Runway friction tester vehicle	B	210	65	1,0	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,54	0,41
Tatra	B	210	65	1,0	0,57	0,48
	B	210	95	1,0	0,52	0,42
Grip tester	C	140	65	1,0	0,53	0,43
	C	140	95	1,0	0,36	0,24

Fonte: ANAC (2019).

Tabela 2 – Frequência mínima das medições de atrito

Faixas [1]	Médias 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

Fonte: ANAC (2019).

A ANAC (2019) determina ainda que, aeródromos cujas frequências de medição se enquadram nas faixas 5 ou 6, cujas quatro últimas medições tenham obtido resultados de no mínimo o nível de manutenção, podem realizar as medições de atrito com a frequência estabelecida nas faixas 4 ou 5, respectivamente. A ANAC (2019) também estabelece que as medidas de atrito devem ser iniciadas na cabeceira que possui maior número de operações de pousos e considerando: a aeronave com maior letra do código em operação, de acordo com a Tabela 3; alinhamentos paralelos ao eixo da pista; número mínimo de medições.

Tabela 3 – Locais de medição do coeficiente de atrito

Letra do Código (vide RBAC nº 154) [1]	Localização da medição [2]	Quantidade Mínima [3]
A, B ou C	A 3m do eixo	Uma vez de cada lado em relação ao eixo da pista
D, E ou F	A 3m e 6m do eixo da pista	Uma vez de cada lado em relação ao eixo da pista, para cada distância da coluna [2]

Fonte: ANAC (2019).

Quando o valor obtido para o coeficiente de atrito for menor que o mínimo para manutenção, o operador de aeródromo deve informar à ANAC, quais ações serão seguidas para restabelecer valores de manutenção. Essas ações geralmente se iniciam pela retexturização do pavimento através do processo de remoção de borracha acumulada. Quando o coeficiente de atrito atinge níveis inferiores ao nível mínimo, a ANAC solicita que o operador do aeródromo adote ações que visem manter a segurança operacional, utilizando-se da metodologia de gerenciamento do risco à segurança operacional, permitindo que os perigos e riscos presentes em um aeródromo sejam identificados, analisados e priorizados até serem reduzidos em níveis mínimos. Além disso a ANAC indica que as ações a serem adotadas sejam suficientes para restabelecer o coeficiente de atrito em níveis iguais ou superiores ao de manutenção e que seja emitida *Notice to AirMen* (NOTAM) que informe que a PPD apresenta trechos escorregadios com níveis de coeficiente de atrito inferior ao mínimo (ANAC, 2014; 2019).

As medições de coeficiente de atrito dos aeroportos analisados neste trabalho ocorrem por meio do equipamento Grip Tester. Consiste em um equipamento robusto, compacto, leve e de fácil operação e que realiza as medições de modo contínuo. É constituído por três rodas, de forma que a central é a responsável pela medição do coeficiente de atrito. As medições ocorrem a cada 10 ou 20m. Na Figura 2 é ilustrado o equipamento (COUCHINHO, 2011).

Figura 2 – Grip Tester.



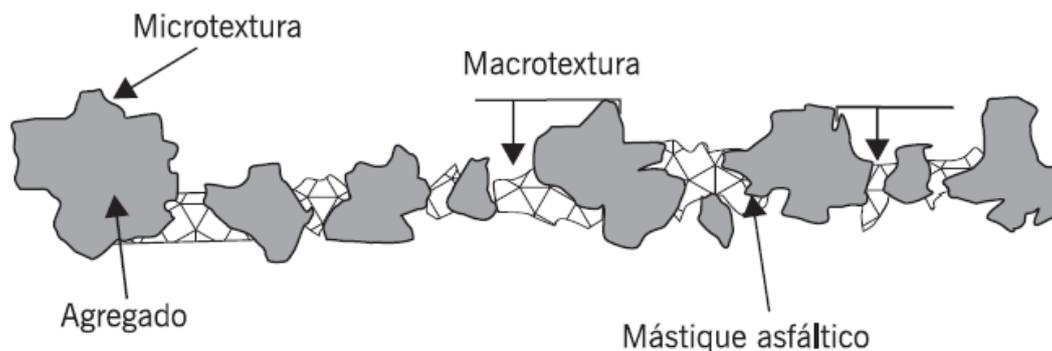
Fonte: Couchinho (2011).

2.1.2 Textura do pavimento

De acordo com a *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2012), a textura de um pavimento divide-se em microtextura e macrotextura. Rodrigues Filho (2006) afirma que a microtextura se caracteriza pelo grau de rugosidade ou aspereza individual da superfície das partículas do agregado que compõem a mistura asfáltica ou de concreto de cimento Portland da camada de revestimento. A microtextura não é visível a olho nu e pode ser classificada como rugosa ou lisa.

A macrotextura, por sua vez, está ligada a granulometria dos agregados utilizados no revestimento. Um pavimento com elevada macrotextura possui, em sua mistura, agregado graúdo e anguloso, gerando grande volume de vazios, propiciando o acúmulo de borracha provinda dos pneus das aeronaves. Na Figura 3 são ilustrados os conceitos de microtextura e macrotextura em revestimentos asfálticos. (RODRIGUES FILHO, 2006).

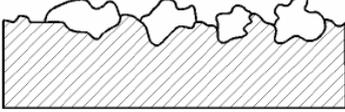
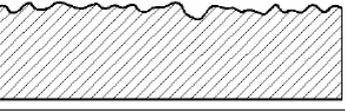
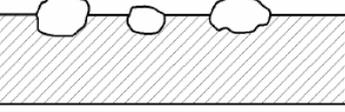
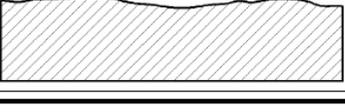
Figura 3 – Ilustração de microtextura e macrotextura



Fonte: Bernucci *et al.* (2010).

Segundo APS (2006), a superfície resultante de um pavimento depende de características tanto de microtextura quanto de macrotextura. Tais combinações podem resultar em quatro tipos de textura: rugosa e aberta, rugosa e fechada, polida e aberta, polida e fechada, conforme Figura 4.

Figura 4 – Ilustração das classes de macrotextura e microtextura

Microtextura	Macrotextura	Superfície	Tipo de Textura
Rugosa	Aberta		Rugosa e Aberta
	Fechada		Rugosa e Fechada
Polido ou Lisa	Aberta		Polido e Aberta
	Fechada		Polido e Fechada

Fonte: APS (2006).

Os pavimentos novos que possuem macrotextura aberta e microtextura rugosa e áspera possuem valores elevados de histerese e adesão, o que os dá melhores condições de atrito na presença de lâmina d'água. Já pavimentos que passaram por um processo de desgaste e possuem microtextura polida tem o atrito por adesão diminuído, sendo o atrito por histerese fundamental para uma frenagem eficiente. O fechamento da macrotextura, devido à presença de contaminantes, mesmo na presença de microtextura rugosa, propicia a ocorrência de hidroplanagem. Em pistas que apresentem macrotextura fechada e microtextura polida é exigida maior distância passível à frenagem, devido as parcelas de atrito por histerese e por adesão serem diminuídas, favorecendo a ocorrência de acidentes. (LEOCADIO, 2014).

A microtextura fornece propriedades de atrito para aeronaves que operam em baixas velocidades e a macrotextura fornece propriedades de atrito para aeronaves operando em altas velocidades. Juntas, elas fornecem propriedades de fricção adequadas para aeronaves em toda a faixa de velocidade de pouso e decolagem. (CHEN *et al.*, 2013).

A ANAC (2019) preconiza que o operador de aeródromo deve monitorar a profundidade da macrotextura do pavimento por meio do ensaio da mancha de areia. Segundo a ABNT (2016), o ensaio da mancha de areia consiste na determinação da profundidade de areia na superfície de um revestimento através do preenchimento dos vazios

da textura superficial com um volume conhecido de 25.000mm³ de uma areia padronizada. Inicialmente é necessário limpar a superfície onde se realizará o ensaio, em seguida espalhe-se a areia com o auxílio de um disco espalhador revestido de borracha, em movimentos circulares até que não seja mais possível espalhar o material e obtendo-se uma mancha no formato aproximado de um círculo. Além disso, é necessária a utilização de um anteparo de madeira de forma circular, para que o vento não exerça influência sobre o ensaio.

Após o material ser espalhado deve-se seguir o procedimento com a realização da medida do diâmetro do círculo, que deve ser efetuada quatro vezes em direções diferentes e calculada a média. O passo a passo do procedimento é ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Ensaio da mancha de areia



Fonte: Sousa e Oliveira (2019).

Dessa forma, tendo-se o conhecimento do volume de areia (V) e do diâmetro do círculo (D_m), é possível obter a altura da mancha de areia na superfície do pavimento, conforme a Equação 1.

$$H_m = \frac{V \times 4}{D_m^2 \times \pi} \quad (1)$$

A profundidade média da macrotextura deve ser mantida no valor mínimo de 0,60mm nas pistas de pouso e decolagem, no entanto essa classificação é diferente para revestimentos constituídos de CPA, cuja profundidade média da macrotextura deve ser no

mínimo 1,2mm, de acordo com a classificação “muito aberta” da macrotextura. (ANAC, 2019). As medições devem acontecer de acordo com a frequência definida na Tabela 4.

Tabela 4 – Frequência mínima das medições de macrotextura

Faixas [1]	Médias de pousos diários de aeronaves de asa fixa com motor à reação, na cabeceira predominante, no último ano [2]	Frequência de medições de macrotextura [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 30 dias

Fonte: ANAC (2019).

A ANAC (2019) determina que a profundidade da macrotextura do pavimento deve ser medida em toda extensão de operações de pouso e decolagens da pista, em áreas do revestimento onde não haja *grooving*, em áreas distanciadas a 3m do eixo da pista, alternando-se a cada 100m entre direita e esquerda e que sejam realizadas 3 medições, no mínimo, em cada área. Em seguida, a média da macrotextura deve ser calculada pelo operador do aeródromo, para cada terço da pista, e classificada, conforme regulamentado pela ANAC (2019) na Tabela 5.

Tabela 5 – Classificação da macrotextura

Profundidade - P (mm)	Classificação
$P \leq 0,2$	Muito fechada
$0,2 < P \leq 0,4$	Fechada
$0,4 < P \leq 0,8$	Média
$0,8 < P \leq 1,2$	Aberta
$P > 1,2$	Muito aberta

Fonte: ANAC (2019).

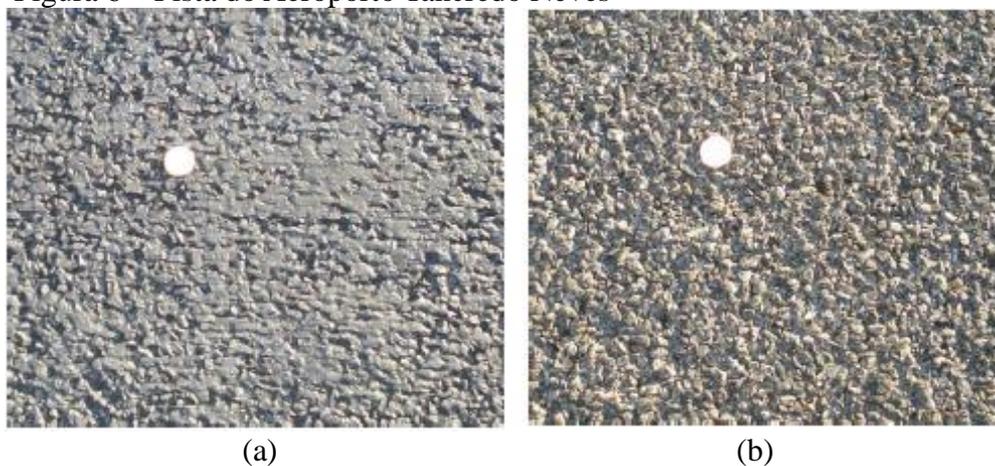
Quando o resultado obtido para macrotextura for inferior ao exigido o operador do aeródromo deve tomar decisões acerca de quais ações serão adotadas para que a macrotextura do revestimento seja recuperada, bem como adotar ações com vistas a manter a segurança operacional, utilizando-se da metodologia de gerenciamento do risco à segurança operacional. O operador do aeródromo fica encarregado de avaliar se a profundidade média de água excede 3mm em uma região de 150m de comprimento por 12m de largura localizada no centro da PPD, e ainda garantir que a PPD tenha drenagem suficiente para não acumular água acima do que é permitido. (ANAC, 2019).

2.2 Contaminantes

Segundo a *Federal Aviation Administration* (FAA, 1997), independentemente do tipo de revestimento, o coeficiente de atrito de uma pista tende a sofrer alterações ao longo do tempo. Essas alterações acontecem em função do tipo e frequência das atividades das aeronaves, clima, questões ambientais, entre outros fatores.

Além de desgastes mecânicos dos pneus das aeronaves, contaminantes podem se acumular nas superfícies do pavimento da pista e diminuir seus coeficientes de atrito. Contaminantes tais como borracha, partículas de pó, combustível de aviação, derramamento de óleo, água, neve, gelo e lama causam perda de atrito superficial de um pavimento. Uma pista é considerada contaminada no momento em que se encontrarem quaisquer dos contaminantes citados anteriormente (FAA, 1997). Na Figura 6 é ilustrado o pavimento da pista do Aeroporto Tancredo Neves à época em que era composto por CPA. Na Figura 6(a) é ilustrada uma região na zona de toque da PPD com presença de borracha acumulada e na Figura 6(b) é ilustrada uma região na zona de toque, porém sem solicitação, e, portanto, sem emborrachamento.

Figura 6 – Pista do Aeroporto Tancredo Neves



Fonte: Lugão (2008).

Ainda de acordo com a FAA (1997), depósitos de borracha são os contaminantes que se dão com maior ocorrência nas pistas de aeroportos, esses depósitos ocorrem em áreas de aterrissagem das pistas e podem cobrir completamente a textura superficial do pavimento, causando perda de capacidade de frenagem da aeronave e perda do controle direcional quando as pistas estão molhadas. Em outubro de 1978, a FAA realizou por dois anos a avaliação de atrito em pavimentos de 268 aeroportos (491 pistas) nos Estados Unidos. As observações de

campo das condições de superfície do pavimento, seguidas da análise dos dados do teste de atrito identificaram nas áreas de toque das aeronaves na pista, locais com níveis abaixo do mínimo de atrito aceitável.

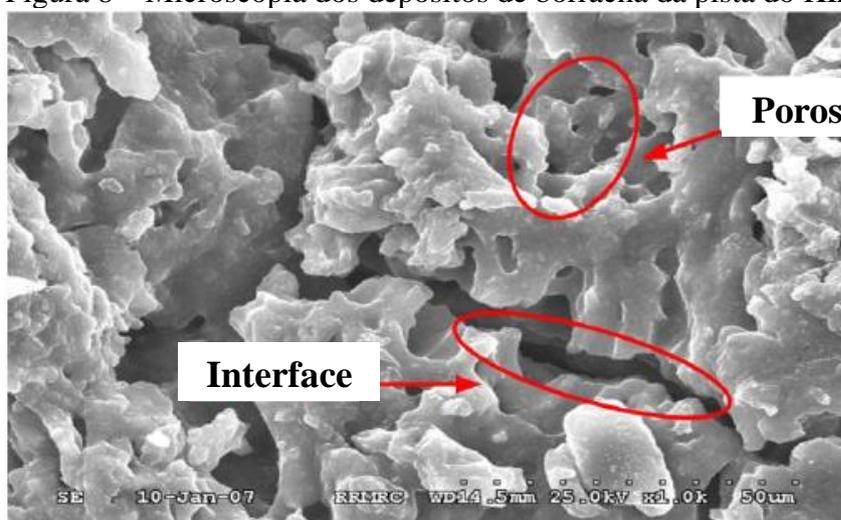
No estudo realizado por Chen *et al.* (2013), onde foi possível extrair depósitos de borracha da PPD do *Kaohsiung International Airport* (KIA) e realizar uma análise microscópica, obteve-se como espessura média dos depósitos de borracha 0,38, 0,21, 0,01 e 0,17mm para as camadas 1, 3, 5 e 7, respectivamente. As camadas 1, 3, 5 e 7 tinham 11, 7, 4 e 7 semanas de idade, respectivamente (FIGURA 7). As múltiplas camadas de borracha detectadas nos ensaios microscópicos se mostraram estar compactadas, o que aconteceu devido as frequentes aterrissagens de aviões nas pistas com depósitos. A microscopia eletrônica indicou ainda que a microestrutura dos depósitos de borracha é constituída por vazios de ar e interfaces, o que é ilustrado na Figura 8.

Figura 7 – Depósitos de borracha no KIA



Fonte: Chen *et al.* (2013).

Figura 8 – Microscopia dos depósitos de borracha da pista do KIA



Fonte: adaptado de Chen *et al.* (2013).

2.3 Processos de remoção de borracha acumulada

A remoção de borracha de um pavimento é uma atividade essencial que visa manter áreas de pouso e decolagem seguras. A FAA (1997) exige que padrões rígidos de resistência à derrapagem sejam atingidos e mantidos em aeródromos.

Um pouso libera, em média, 700g de borracha sobre a superfície de um pavimento aeroportuário. Além disso, outro fator que prejudica a segurança nas operações é o calor gerado durante a interação que provoca uma reação química, definida como polimerização, que tornam os depósitos de borracha materiais duros e lisos. Esse acúmulo de borracha preenche tanto a microtextura quanto a macrotextura do pavimento, o que causa uma séria perda de resistência à derrapagem quando a pista está molhada (GRANSBERG, 2008).

A ANAC (2019) determina que a borracha deve ser removida de um revestimento quando notar-se que as condições de aderência estão sendo afetadas pelo acúmulo do contaminante. Além disso, a remoção de borracha deve ser realizada quando o coeficiente de atrito for menor que o valor mínimo estabelecido para nível de manutenção ou quando a profundidade de macrotextura for menor que o nível mínimo, na frequência mínima estabelecida pela Tabela 6.

Tabela 6 – Frequência mínima de remoção de borracha em aeródromos

Faixas [1]	Médias de pousos diários de aeronaves de asa fixa com motor à reação, na cabeceira predominante, no último ano [2]	Frequência de remoção de borracha [3]
1	Menos de 15	Cada 720 dias
2	16 a 30	Cada 360 dias
3	31 a 90	Cada 180 dias
4	91 a 150	Cada 120 dias
5	151 a 210	Cada 90 dias
6	Mais de 210	Cada 60 dias

Fonte: ANAC (2019)

Existem diversas formas de realizar a remoção dos depósitos de borracha. Depois dos contaminantes serem removidos da pista, a FAA (1997) recomenda que o operador aeroportuário deve realizar medições de atrito para assegurar que os valores foram restaurados para os níveis aceitáveis. Os métodos utilizados para a remoção de borracha acumulada em pistas de aeroportos que foram encontrados na literatura serão brevemente descritos a seguir.

A FAA (1997) ainda adverte que nenhuma das técnicas devem ser usadas a menos que a pista esteja livre de água parada, neve, lama ou gelo. Além disso, métodos de remoção

com impacto químico ou que utilizam água, não devem ser usados se houver perigo de congelamento de fluidos. Os resultados podem variar de completamente ineficazes para uma situação em que todo o acúmulo de borracha é removido, mas o pavimento é significativamente danificado. Dessa forma, o processo deve se dar de forma cautelosa, para que não haja prejuízos ao pavimento causados por falhas operacionais.

2.3.1 Hidrojateamento a alta pressão

O hidrojateamento a alta pressão consiste em uma série de jatos de água em alta pressão empregada no pavimento para liberar os contaminantes da superfície. A borracha é removida por meio de dispositivos rotativos que se movem ao longo da superfície à medida que são limpos. Isto é feito utilizando em torno de 100 litros de água por minuto a pressões entre 100 e 1000bar. A água que penetra na superfície, limpando efetivamente os depósitos de borracha, cria um efeito que ajuda a aumentar os valores de atrito e a textura da superfície do pavimento. (FIGURA 9). (FAA, 1997; *CIVIL AVIATION REGULATORY COMISSION, 2010*).

Figura 9 – Realização da remoção de borracha por meio do hidrojateamento a alta pressão



Fonte: adaptada de *Civil Aviation Regulatory Comission* (2010).

O hidrojateamento apresenta inúmeros benefícios os quais são decisivos na tomada de decisão de qual método utilizar, dentre eles estão: a velocidade na qual a borracha é removida (em torno de 1.200m²/h); a eficiência de custos do processo (a água é geralmente fornecida); as características de atrito melhoradas devido à penetração da água e a remoção de

borracha; a facilidade em sair da pista em caso de emergência; seu uso é independente do clima e pode ser operado em invernos frios e úmidos. Existem alguns pontos negativos na utilização do hidrojateamento a alta pressão, que são: o ruído da operação requer o uso de proteção auditiva; a proteção dos olhos também deve ser usada nas proximidades da máquina durante a operação; por questões ambientais, o descarte apropriado do material residual é necessário; pode causar o polimento do agregado, afetando a microtextura; danifica o *grooving* e superfícies do pavimento ao longo do tempo (8 anos). (*CIVIL AVIATION REGULATORY COMMISSION, 2010*).

Gransberg (2008) estudou 33 aeroportos, a maioria localizado nos Estados Unidos, e verificou que 5 de 6 aeroportos que possuíam *grooving* no revestimento relataram que houve danos no pavimento provocados pela realização do jateamento, de forma que estes aeroportos abandonaram a utilização desse método de remoção. Hiering e Grisel (1975) estudaram como desvantagem do hidrojateamento o polimento da microtextura do pavimento.

No entanto, Hiering e Grisel (1975) não conseguiram concretizar que esse prejuízo é real e que acontece em concomitância com o jateamento ou se o polimento está relacionado ao envelhecimento natural do pavimento, como resultado do tráfego das aeronaves, visto que o polimento do agregado no único aeroporto onde foi possível realizar o estudo apresentou-se no pavimento com idade de 6 anos, fato que derrubou a hipótese do hidrojateamento como causa do polimento. Waters (2005) mostrou através de suas pesquisas que o polimento dos agregados está relacionado com o tipo de agregado utilizado no pavimento, de maneira que alguns agregados se mostraram mais sensíveis ao processo do hidrojateamento, enquanto outros foram beneficiados pelo método.

2.3.2 Remoção através de produtos químicos

A remoção através de produtos químicos era a mais utilizada entre as décadas de 1960 e 1970 até surgir a preocupação com a sustentabilidade do meio ambiente. O hidrojateamento a alta pressão foi desenvolvido com o objetivo de substituir os métodos que se utilizavam de produtos químicos, por não serem ambientalmente corretos. No entanto, hoje já existem produtos químicos ecologicamente adequados que são seguros e eficazes na remoção de borracha acumulada em revestimentos aeroportuários. (*HORNE E GRISWOLD, 1975; CIVIL AVIATION REGULATORY COMMISSION, 2010*).

A remoção acontece pulverizando os produtos químicos na superfície do pavimento e, em seguida, escovando diretamente nos depósitos de borracha no decorrer de

várias horas. Os produtos químicos quebram a borracha polimerizada em uma substância gelatinosa. A substância é então liberada da pista por jateamento de água quando o processo é concluído. Durante este processo, a pista não pode ser reaberta até que o processo seja concluído devido à superfície da pista estar escorregadia. (*CIVIL AVIATION REGULATORY COMMISSION, 2010*).

O amolecimento da borracha antes de ser removida é tido como uma das vantagens da remoção por produtos químicos quando comparada ao hidrojateamento, por exemplo, visto que o amolecimento da borracha torna o processo menos agressivo ao pavimento. Os resíduos da remoção não podem ser removidos utilizando varredores tradicionais, pois os produtos químicos reagem com o material componente da ferramenta, tornando a operação inviável. Portanto, esses resíduos permanecem no pavimento, e embora sejam biodegradáveis a tendência é que se acumulem no revestimento com o tempo (*SPEIDEL, 2002; CIVIL AVIATION REGULATORY COMMISSION, 2010*).

Murugadoss (2018) cita como vantagem do método a possibilidade de usar os equipamentos e o pessoal do próprio aeroporto. Como desvantagens, além das já citadas, Murugadoss (2018) destaca o alto custo em relação ao hidrojateamento. A INFRAERO (2007) adota no Brasil produtos químicos atrelados ao jateamento de água, como detergentes biodegradáveis.

2.3.3 Remoção por Impacto de Alta Velocidade

A remoção acontece ao se jogar partículas abrasivas a uma velocidade muito alta na superfície do pavimento, removendo assim os contaminantes na superfície. Além disso, a máquina que executa essa operação pode ser ajustada para produzir a textura superficial desejada. O abrasivo é propelido mecanicamente das pontas periféricas de lâminas radiais em uma roda de alta velocidade. (*CIVIL AVIATION REGULATORY COMMISSION, 2010*).

Toda a operação é ambientalmente limpa a medida em que é autossuficiente. As partículas abrasivas, contaminantes soltos e poeira da superfície da pista são recolhidos em superfícies sem *grooving*. Os contaminantes e a poeira são separados do abrasivo, de forma que as partículas abrasivas são recicladas e reutilizadas. A máquina é facilmente removida da pista, se exigido pelas operações de pouso e decolagem. (*CIVIL AVIATION REGULATORY COMMISSION, 2010*).

2.3.4 Remoção Mecânica

A remoção mecânica pode ser feita através de vassouras rotativas de cerdas duras ou através de fresadores. A retexturização através de tintas mostrou-se eficaz, no entanto as taxas de remoção dos contaminantes tendem a ser baixas, o que exige longos períodos com a PPD fechada. Isso torna esse método desvantajoso quando comparado aos outros. Além disso, a remoção mecânica apresenta como desvantagens do método a possibilidade de causar microfissuras na estrutura, o que levaria a um envelhecimento acelerado da superfície, além de poder causar danos na textura do pavimento. (HORNE *et al.*, 1965; HORNE E GRISWOLD, 1975; MURUGADOSS, 2018).

2.4 Revestimentos utilizados nos aeródromos brasileiros

O pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas, o revestimento é a camada que recebe as cargas dos veículos e de forma mais direta, as ações climáticas. No Brasil, é altamente empregado o concreto asfáltico, denominado Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ), também são empregados revestimentos Pré-Misturados a Frio e Pré-Misturados a Quente. Além desses, existem ainda revestimentos constituídos de graduação aberta, como a CPA e por graduação descontínua, *Stone Matrix Asphalt* (SMA). (BERNUCCI *et al.*, 2010). O enfoque dessa seção é a CPA e o *Grooving*, tratamento utilizado no concreto asfáltico, visto que esses são os revestimentos que mais possibilitam o acúmulo de borracha em sua superfície.

2.4.1 Camada Porosa de Atrito – CPA

A CPA se caracteriza como uma mistura asfáltica que apresenta curva granulométrica uniforme cujos agregados são quase que exclusivamente de mesmas dimensões, proporcionando uma estrutura composta de muitos vazios interconectados. A mistura é carente de material fino, menor que 0,075mm, para preencher os vazios entre as partículas maiores, com o objetivo de originar uma mistura com grande volume de vazios preenchidos com ar, em torno de 18 a 25%, sendo portanto, drenante e possibilitando que a água percole no interior da mistura (BERNUCCI *et al.*, 2010). A estrutura da CPA pode ser vista na Figura 10.

Figura 10 – Camada Porosa de Atrito



Fonte: Bernucci *et al.* (2010).

De acordo com Heystraeten e Mourax (1990) essas misturas são utilizadas como camada de rolamento, devendo ser assentadas sobre uma camada impermeável, que tem como finalidade evitar que a sub-base seja atingida pela água, ou ainda, que haja estagnação do líquido no interior da camada porosa. Na Figura 11 é ilustrada a diferença entre revestimentos de CA e CPA em dias de chuva. Na Figura 12 é ilustrado um exemplo de aplicação no Aeroporto Santos Dumont.

Figura 11 – Trecho em CA seguido por trecho em CPA



Fonte: Bernucci *et al.* (2010).

Figura 12 – Pista do Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont com revestimento em CPA.



Fonte: Aeroporto Santos Dumont (2015).

Os vazios do revestimento do tipo CPA possibilitam ainda que ruídos da ordem de 3 a 7db sejam absorvidos pelo revestimento, proporcionando um melhor conforto sonoro. A grande desvantagem desse revestimento é a necessidade de constante manutenção devido a macrotextura aberta possibilitar o acúmulo de contaminantes, especialmente a borracha dos pneus. No Brasil, a CPA já foi utilizada no Aeroporto Tancredo Neves, em Minas Gerais, mas hoje está presente apenas no Aeroporto Santos Dumont, no Rio de Janeiro. Além disso, a CPA apresenta como desvantagem seu custo elevado em comparação com o concreto asfáltico. Enquanto o preço do m² da CPA em 2016 era R\$ 145,61 o do CAUQ era R\$ 51,31. Em relação a vida de serviço, mais de 70% das agências americanas que utilizam a CPA informaram uma duração de oito ou mais anos. (ISENTING *et al.*, 1990; LUGÃO, 2008; SANTOS, 2004; MIRANDA JUNIOR *et al.*, 2019; KANDHA, 1998).

Lugão (2008) mediu as profundidades de macrotextura antes e depois da realização da remoção de borracha no Aeroporto Internacional Tancredo Neves em Minas Gerais, que até então tinha revestimento composto em CPA. Com a realização das medições nas zonas de toque das aeronaves na pista, o estudo concluiu que o processo de remoção de borracha por hidrojateamento apresentou eficiência de apenas 10% na limpeza do revestimento. Além disso, concluiu que um fator que contribuiu à pouca eficiência da limpeza foi a demora em sua execução, cerca de um ano, apesar de o número de pousos e decolagens no ano anterior realizados no aeródromo indicarem que as remoções deveriam ocorrer a cada seis meses.

2.4.2 Grooving

Segundo Pereira (2010), em 1962, Yager desenvolveu a técnica do *grooving*, que é empregada em concretos asfálticos. Consiste na execução de ranhuras obtidas por fresagem, na superfície do pavimento, de profundidade, largura, espaçamento e forma uniformes. Em pistas de aeroportos a fresagem é feita no sentido transversal do eixo da pista, objetivando a diminuição da distância de frenagem na presença de chuvas. O *grooving* surgiu a partir da preocupação com o fenômeno da hidroplanagem, que consiste na perda de contato dos pneus das aeronaves com o pavimento devido à presença a lâmina d'água formada sobre o pavimento. (HORNE e JOYNER, 1965). Na Figura 13 é ilustrado um revestimento composto de *grooving* em uma pista de pouso e decolagem.

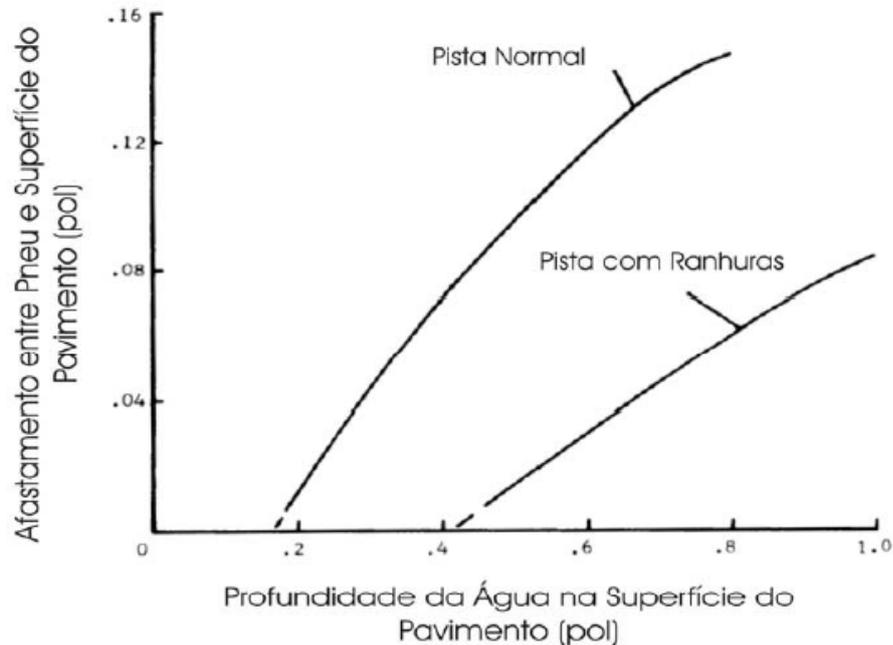
Figura 13 – Execução de grooving no aeroporto de Joinville



Fonte: G1 (2016).

Horner e Dreher (1963) estudaram o fenômeno da hidroplanagem e concluíram que sua ocorrência se dá a partir de uma profundidade mínima de fluido, denominada profundidade crítica. Atingida a profundidade crítica é necessário que o veículo atinja a velocidade de hidroplanagem, que é associada à pressão do pneu da aeronave. Ao estudar a profundidade da lâmina d'água necessária a ocorrência da hidroplanagem, Horner e Dreher (1963) concluíram que é necessária uma maior profundidade para que ocorra o fenômeno em um revestimento com ranhuras, quando comparado a um comum. Isso pode ser verificado na Figura 14.

Figura 14 – Afastamento do pneu (em hidroplanagem) em relação à superfície da pista *versus* a profundidade da lâmina d'água na pista.

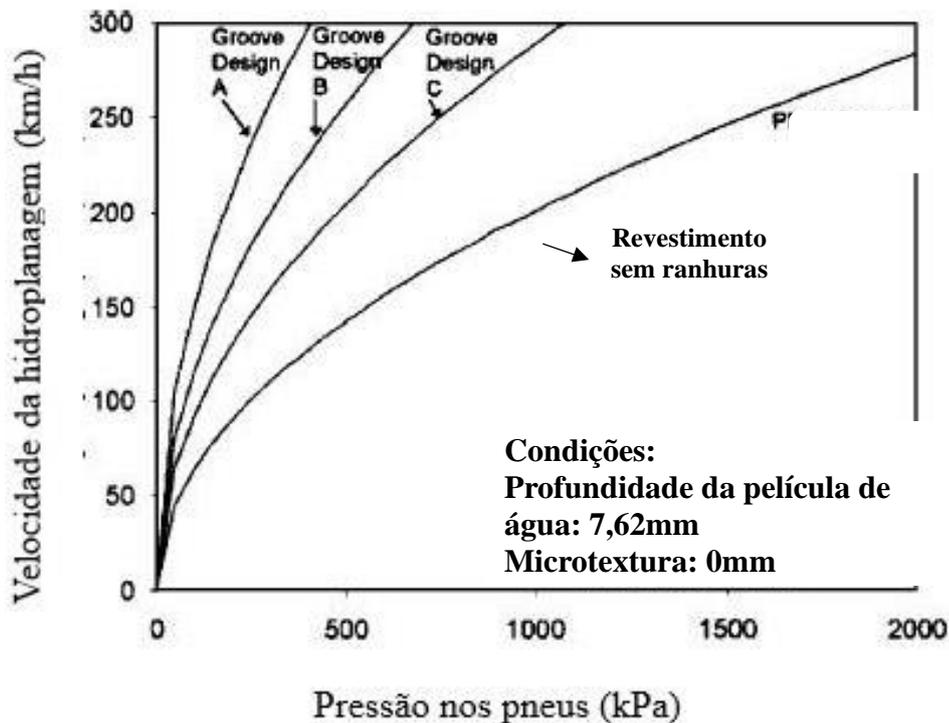


Fonte: adaptado de Grey, W. E., 1963, *apud* Horne e Dreher, 1963.

Ong e Fwa (2006) realizaram uma modelagem tridimensional com a finalidade de criar um modelo que simulasse a hidroplanagem em diferentes tipos de pavimentos. A verificação do modelo se deu por uma comparação com modelo de hidroplanagem da NASA, desenvolvido por Horne e Joyner (1965), que estabeleceu que para a ocorrência da hidroplanagem em um pavimento é necessário atingir uma pressão sobre os pneus da aeronave de 186,2kPa e que a aeronave atinja uma velocidade de 86,6km/h. Na simulação em pavimentos sem a presença do *grooving* foi necessária uma velocidade do veículo de 86,9km/h associada a pressão de 186,2kPa estabelecida pelo estudo da NASA. Ao realizar a simulação com três diferentes tipos de aplicações de *grooving* o modelo de Ong e Fwa (2006) resultou nas velocidades de 199,5, 156,10 e 124,36km/h, considerando-se a pressão dos pneus 186,2kPa.

Dessa forma, o estudo mostrou que para que ocorra a hidroplanagem em um pavimento com aplicação de *grooving*, é necessário além de uma maior profundidade de lâmina d'água, uma maior velocidade da aeronave, o que mostra a eficiência desse tratamento em pavimentos aeroportuários no combate a ocorrência da hidroplanagem. A Figura 15 mostra as curvas de hidroplanagem para os diferentes tipos de pavimentos estudados por Ong e Fwa (2006).

Figura 15 – Resultados obtidos para cada pavimento



Fonte: adaptado de Ong e Fwa (2006).

De acordo com a FAA (1997), periodicamente, o operador do aeródromo deve medir a profundidade e largura das ranhuras de uma pista para verificar os níveis de desgaste. Quando 40% dos sulcos na pista são iguais ou inferiores a 3mm em profundidade e/ou largura para um comprimento de pista de 457m, a eficácia das ranhuras na prevenção de hidroplanagem é consideravelmente reduzida. O operador aeroportuário deve tomar medidas corretivas imediatas para restabelecer a profundidade e/ou largura da ranhura de 6mm.

3 PROCEDIMENTOS PARA COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Este capítulo descreve as etapas seguidas durante a coleta e análise dos dados, bem como a descrição dos aeroportos escolhidos para as análises da eficiência do processo de remoção de borracha acumulada nos valores de coeficiente de atrito e macrotextura.

3.1 Área de Estudo

Para a análise do coeficiente de atrito e da macrotextura, foram escolhidos o Aeroporto Internacional de Fortaleza, o Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont e o Aeroporto de São Paulo/Congonhas. A seguir, serão apresentadas informações acerca de cada um dos aeródromos escolhidos para este estudo.

3.1.1 Aeroporto Internacional de Fortaleza – SBFZ

Inicialmente levou o nome de Aeroporto Pinto Martins, em 1952, como homenagem ao piloto cearense Euclides Pinto Martins que realizou o primeiro voo entre Nova York e Rio de Janeiro. Foi concedido pelo Governo Federal à *Fraport AG* em 2017, empresa alemã responsável pelo gerenciamento de 30 aeroportos em todo o mundo. (FORTALEZA AIRPORT, 2019; FRAPORT AG, 2019).

O Aeroporto Internacional de Fortaleza possui E como letra código da aeronave crítica de projeto, que está relacionada a envergadura da aeronave que nesse caso possui valor entre 52 e 65m. Essa escala vai de A a F, em que A são os aeródromos que possuem como aeronave crítica as menores disponíveis, com valor inferior a 15m e F são os aeródromos que possuem como aeronave crítica as maiores disponíveis, com envergadura entre 65 e 80m. O revestimento da PPD é constituído de Concreto Asfáltico, classificado como flexível, e a PPD apresenta comprimento de 2.545m e 45m de largura (ANAC, 2018).

De acordo com o que preconiza a ICAO (2004), tem-se como denominação das cabeceiras da PPD os valores 13 e 31, que são obtidos considerando-se o azimute magnético de uma das cabeceiras da PPD. A cabeceira predominante para pousos é a 13, determinada através da direção dos ventos favoráveis a essa operação. (OLIVEIRA, 2009). A média de pousos diários no ano de 2017 na cabeceira 13 foi de 70 enquanto da cabeceira 31 apenas 1 (ANAC, 2018).

As medições de coeficiente atrito na PPD do SBFZ são realizadas pelo equipamento Grip Tester a uma velocidade de 65 km/h. Como a letra código da maior aeronave em operação é E, as medições de atrito foram realizadas a 3m e a 6m do eixo da PPD. As medições de coeficiente de atrito e macrotextura, bem como a frequência mínima de realização dos procedimentos de remoção de acúmulo de borracha na PPD, devem seguir o descrito pela Tabela 7 para cada ano analisado, de acordo com a média de pousos diários de aeronaves no ano anterior às medições. (ANAC, 2019). Na Figura 16 é ilustrada a vista aérea do Aeroporto Internacional de Fortaleza.

Tabela 7 – Frequências mínimas de medições de coeficiente de atrito, macrotextura e procedimentos de remoção de borracha acumulada a serem seguidas pelo SBFZ de acordo com a ANAC (2019).

Ano das medições	Média de pousos do ano anterior	Frequência de medições de atrito e macrotextura	Frequência de remoção de borracha
2014	86	a cada 90 dias	a cada 180 dias
2015	92	a cada 60 dias	a cada 120 dias
2016	81	a cada 90 dias	a cada 180 dias
2017	66	a cada 90 dias	a cada 180 dias
2018	70	a cada 90 dias	a cada 180 dias

Fonte: elaborada pela autora.

Figura 16 – Vista aérea do Aeroporto Internacional de Fortaleza



Fonte: adaptado de Google Earth (2019a).

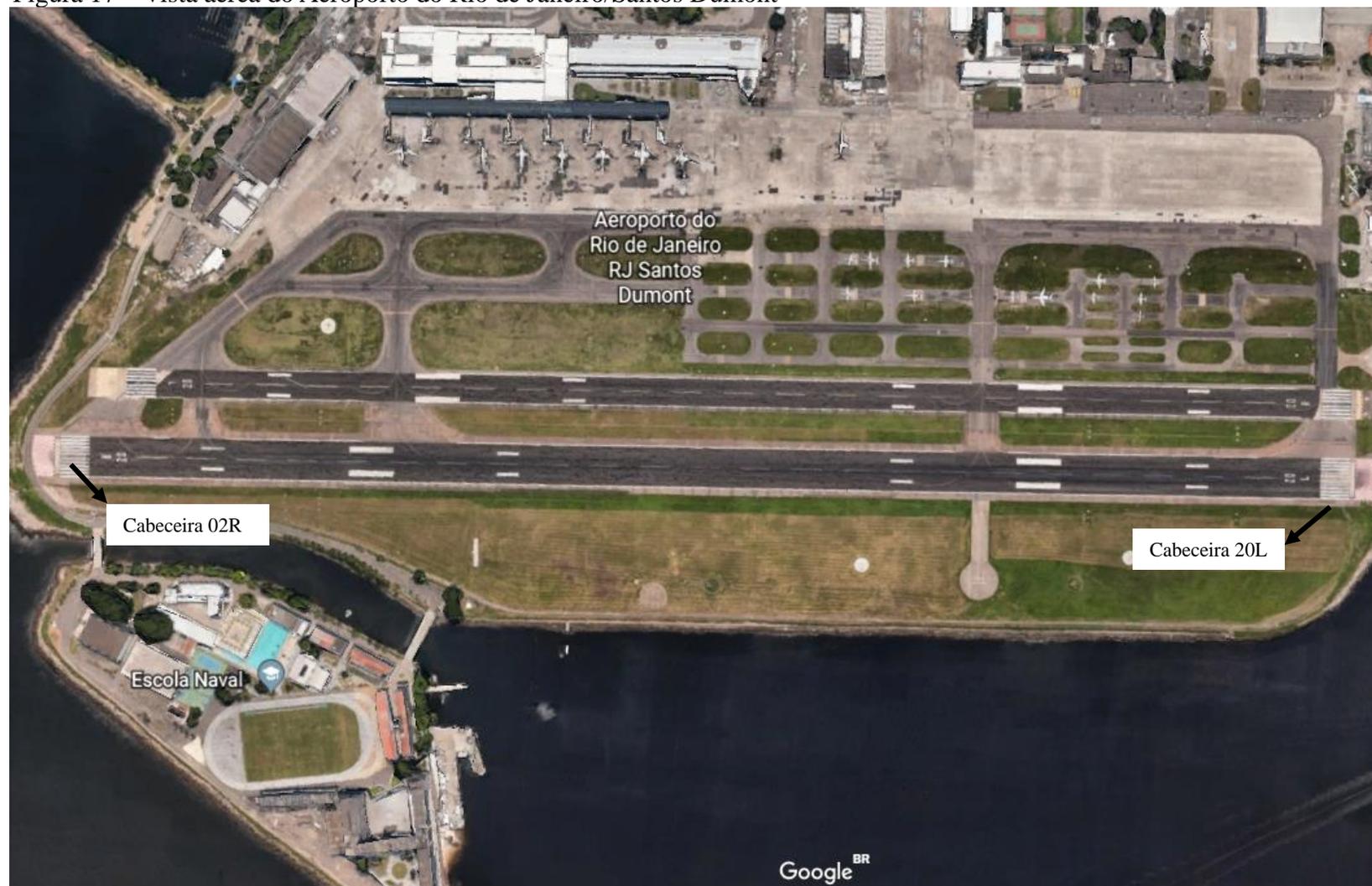
3.1.2 Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont – SBRJ

Primeiro aeroporto civil do país, teve suas obras iniciadas em 1934 e sua inauguração em 1945, pelo então presidente Getúlio Vargas, o Aeroporto Santos Dumont é administrado pela INFRAERO desde 1987. Foi idealizado pelo urbanista francês Alfred Agache quando o Rio de Janeiro ainda era a capital federal do Brasil. Sua construção é considerada um marco da arquitetura moderna brasileira, com seu duplo saguão, em que retrata o sonho mitológico de Ícaro realizado por Alberto Santos Dumont com o 14-Bis e a aviação moderna. (INFRAERO, 2019c).

O aeródromo é classificado como C, no que diz respeito à letra código da aeronave crítica de projeto, de forma que essa tem envergadura entre 24 e 36m. Possui PPD principal com comprimento de 1.323 metros e 42 metros de largura e PPD auxiliar com 1.260 metros de comprimento e 30 metros de largura. O revestimento da PPD é constituído de asfalto possuindo uma camada de rolamento em Camada Porosa de Atrito (CPA) em toda sua extensão (INFRAERO, 2018a; INFRAERO, 2019a).

De acordo com a ICAO (2004), o aeródromo possui como direção das cabeceiras da PPD a denominação 02 e 20. Como o aeroporto possui duas PPD, é necessária a classificação R (*right* – direita) e L (*left* – esquerda), dessa forma, o Aeroporto Santos Dumont possui como cabeceiras, 02L, 20L, 02R e 20R. Em 2017, o SBRJ apresentou média diária de 90 operações de pouso e decolagem na cabeceira principal, 20L, e 43 na secundária, 02R. (ICAO, 2004; INFRAERO, 2018a). Na Figura 17 é ilustrada a vista aérea do aeroporto.

Figura 17 – Vista aérea do Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont



Fonte: Google Earth (2019b).

As medições de coeficiente de atrito na PPD do SBRJ são realizadas pelo equipamento Grip Tester a uma velocidade de 65 km/h. Como a letra código da maior aeronave em operação é C, as medições de atrito são realizadas apenas a 3m do eixo da PPD. As medições de coeficiente de atrito e macrotextura, bem como os procedimentos de remoção de acúmulo de borracha na PPD, devem seguir o descrito pela Tabela 8 para cada ano analisado, de acordo com a média de pousos diários de aeronaves no ano anterior às medições e pelo que preconiza a ANAC (2019).

Tabela 8 – Frequências mínimas de medições de coeficiente de atrito, macrotextura e procedimentos de remoção de borracha acumulada a serem seguidas pelo SBRJ de acordo com a ANAC (2019).

Ano das medições	Média de pousos do ano anterior	Frequência de medições de atrito e macrotextura	Frequência de remoção de borracha
2015	105	a cada 60 dias	a cada 120 dias
2016	105	a cada 60 dias	a cada 120 dias
2017	98	a cada 60 dias	a cada 120 dias
2018	90	a cada 90 dias	a cada 180 dias

Fonte: elaborada pela autora.

3.1.3 Aeroporto de São Paulo/Congonhas – SBSP

Em 1935, foi realizado um estudo técnico pelo Governo de São Paulo, que visava à escolha da melhor localização para construção de um novo aeroporto. A região de Congonhas foi escolhida devido suas condições naturais de visibilidade e drenagem, distante das áreas de enchente do Rio Tietê. Na década de 1990, Congonhas tornou-se o aeroporto mais movimentado do país. Com o aumento do fluxo de passageiros e aeronaves tornou-se necessária a realização de uma reforma, para atender a maior demanda. Em 2008, a ANAC determinou que o aeroporto se chamasse Aeroporto de São Paulo/Congonhas. (INFRAERO, 2019d).

No dia 17 de julho de 2007, o voo 3054 da TAM vivenciou o pior acidente aéreo da história do Brasil, o Airbus A320 deixou 199 mortos naquele dia, quando no momento do pouso no Aeroporto de Congonhas a aeronave apresentou problemas na frenagem e se chocou com um prédio da TAM. À época do acidente a INFRAERO realizava recapeamento na PPD, devido ao recorrente acúmulo de água causado pelas chuvas, pois pelo menos quatro aviões

derraparam em Congonhas naquele ano. O recapeamento teve sua primeira fase iniciada no dia 14 de maio de 2007 e concluída em 29 de junho do mesmo ano. A segunda fase, que incluía a implementação do *grooving* na pista, iniciaria dali a 30 dias. Uma semana depois do acidente as obras de realização do *grooving* foram iniciadas. (VEJA, 2009; BBC BRASIL, 2017).

O aeródromo é classificado como C, no que diz respeito a letra código da aeronave crítica de projeto. A PPD principal do aeroporto possui 1.640 metros de comprimento e 45 metros de largura. Já a pista auxiliar possui comprimento de 1.345 metros e mesma largura. A PPD é em toda sua extensão constituída de asfalto com tratamento no revestimento em *grooving*. De acordo com o que preconiza a ICAO (2004) a nomenclatura das cabeceiras de suas pistas é 17 e 35, possuindo então quatro cabeceiras, 17L, 17R, 35L e 35R. Em 2017 o aeroporto apresentou média de 169 pousos e decolagens na PPD principal, cabeceira 17R, e 95 na secundária, cabeceira 35L.

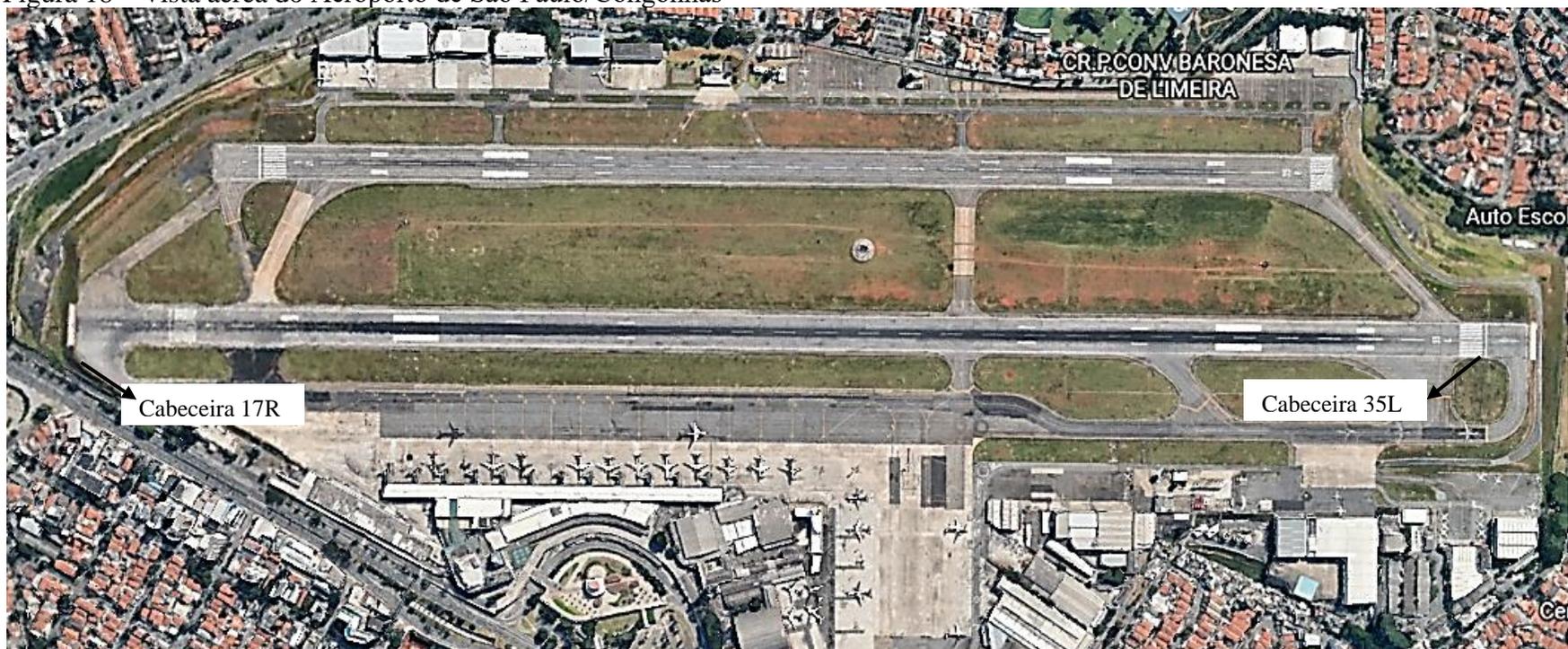
As medições de coeficiente de atrito na PPD do SBSP são realizadas pelo equipamento Grip Tester a uma velocidade de 65km/h. Como a letra código da maior aeronave em operação é C, as medições de atrito são realizadas apenas a 3m do eixo da PPD. As medições de coeficiente de atrito e macrotextura, bem como os procedimentos de remoção de acúmulo de borracha na PPD, devem seguir o descrito pela Tabela 9 para cada ano analisado, de acordo com a média de pousos diários de aeronaves no ano anterior às medições e pelo que preconiza a ANAC (2019). Na Figura 18 é ilustrada a vista aérea do Aeroporto de São Paulo/Congonhas. (INFRAERO, 2018b; INFRAERO, 2019c).

Tabela 9 – Frequências mínimas de medições de coeficiente de atrito, macrotextura e procedimentos de remoção de borracha acumulada a serem seguidas pelo SBSP de acordo com a ANAC (2019).

Ano das medições	Média de pousos do ano anterior	Frequência de medições de atrito e macrotextura	Frequência de remoção de borracha
2015	153	a cada 30 dias	a cada 90 dias
2016	145	a cada 60 dias	a cada 120 dias
2017	167	a cada 30 dias	a cada 90 dias
2018	169	a cada 30 dias	a cada 90 dias

Fonte: elaborada pela autora.

Figura 18 – Vista aérea do Aeroporto de São Paulo/Congonhas



Fonte: adaptado de Google Earth (2019c)

3.2 Coleta de Dados

Os dados de coeficiente de atrito e macrotextura utilizados nas análises deste trabalho foram coletados por meio de solicitação junto à Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), feita por meio da Lei de Acesso à Informação. Os dados, coletados entre os anos de 2014 e 2018, foram recebidos por meio de relatórios técnicos de coeficiente de atrito e macrotextura dos aeródromos estudados.

3.3 Tabulação dos dados

Para que as análises deste estudo fossem viáveis, foi necessária a tabulação dos dados providos dos relatórios em arquivos com extensão PDF disponibilizados pela ANAC. Os valores de macrotextura e coeficiente de atrito de cada relatório disponibilizado foram tabulados através do *software Microsoft Excel 2016*. Ao todo foram analisados dados de 21 relatórios de medição de macrotextura e 27 relatórios de medição de coeficiente de atrito do Aeroporto Internacional de Fortaleza, 21 relatórios de medição de macrotextura, 49 relatórios de medição de coeficiente de atrito do Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont e 141 relatórios de medição de coeficiente de atrito do Aeroporto de São Paulo/Congonhas. No SBSP não foi analisada a macrotextura devido à presença de *grooving* no revestimento da PPD principal, que descarta a necessidade de realização das medições, sendo estas realizadas apenas em alguns trechos, que não possuem *grooving*, distantes 16 ou 18 metros do eixo da pista, distância não significante para o estudo realizado neste trabalho.

Os dados de macrotextura foram tabulados de acordo com as medições realizadas a cada 100 metros, variando entre lado direito e lado esquerdo da PPD, divididos entre medição geral e medição por lado da pista. Os dados de coeficiente de atrito foram tabulados de acordo com o lado da pista em que a medição foi realizada e a distância em relação ao eixo da pista. Para o Aeroporto Internacional de Fortaleza houve duas medições por lado da pista, a 3m do eixo e a 6m do eixo já no Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont e no Aeroporto de São Paulo/Congonhas foram realizadas apenas as medições a 3m do eixo, em ambos os lados da PPD.

3.4 Cálculo dos parâmetros

Inicialmente foi calculada a profundidade média da macrotextura, que consiste na média das medições de cada trecho, por terço da PPD. Em seguida foi calculada a profundidade de macrotextura para todo o comprimento da PPD. Além disso, foi calculada a classificação de abertura da macrotextura conforme preconizado pela ANAC (2019), que não foi realizada para o SBSP devido à ausência de dados de macrotextura.

Em relação ao coeficiente de atrito, foram calculadas as médias para cada lado da PPD, em relação ao eixo em que foi feita a medição, ou seja, para o SBFZ foram calculadas as médias para o lado direito e esquerdo, a distância de 3m do eixo e 6m do eixo. Após calculadas as médias por distância do eixo foi calculada a média geral entre as duas distâncias, a fim de tornar mais coesa a comparação entre os aeroportos, visto que no SBSP e no SBRJ são realizadas apenas as medições a 3m do eixo da PPD. Além disso, foi calculado o coeficiente de atrito para cada terço da pista, bem como o coeficiente de atrito para todo o comprimento da PPD.

Também foram calculados os dias entre duas medições de coeficiente de atrito e de macrotextura, bem como os dias entre duas remoções de borracha. Além disso, também calcularam-se o desvio padrão das médias de macrotextura e coeficiente de atrito, bem como o coeficiente de variação. Sabe-se que no Aeroporto Internacional de Fortaleza o processo de remoção de borracha é realizado apenas no 1º terço da PPD, onde se concentram as operações de pouso. No SBRJ e no SBSP a remoção é feita no 1º e 3º terço da PPD.

3.5 Elaboração dos gráficos de dispersão

Foram elaborados gráficos a fim de tornar mais visível a variação dos parâmetros aqui estudados. Os gráficos criados foram da profundidade de macrotextura para todo o comprimento da PPD, apresentando o nível mínimo exigido pela ANAC (2019), de 0,60mm para o SBFZ e 1,2mm para o SBRJ, contendo também a realização dos processos de remoção de borracha. Além disso, foram elaborados os gráficos da profundidade média da macrotextura, ou seja, da macrotextura por terços, para que fossem realizadas as análises conforme o que é solicitado pela ANAC. Nos gráficos de dispersão das médias foram criadas as linhas de tendência linear e calculadas seus coeficientes angulares.

No que diz respeito ao coeficiente de atrito, foram elaborados gráficos do coeficiente de atrito para todo o comprimento da PPD dos aeródromos, contendo o nível mínimo e o nível de manutenção preconizado pela ANAC (2019), bem como as ocorrências de remoção do acúmulo de borracha. Além disso, foram desenvolvidos gráficos com o coeficiente de atrito dividido por lado da pista em relação ao seu eixo, a fim de comparar a variação do coeficiente de um lado para o outro. Também foram elaborados gráficos com o coeficiente de atrito dividido por terços da PPD. Nos gráficos de dispersão das médias foram criadas as linhas de tendência linear e calculadas seus coeficientes angulares.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são expostos os resultados e as discussões acerca das análises dos dados de macrotextura e coeficiente de atrito.

4.1 Aeroporto Internacional de Fortaleza – SBFZ

Esta seção contém os resultados e discussões obtidos acerca das análises da macrotextura e do coeficiente de atrito da pista de pouso e decolagem (PPD) do SBFZ quando realizados os processos de remoção de borracha acumulada.

4.1.1 Macrotextura – SBFZ

O Apêndice A mostra as datas de remoção do acúmulo de borracha e as datas de medição da profundidade da macrotextura na PPD do Aeroporto Internacional de Fortaleza, bem como o intervalo em dias entre duas remoções e medições de macrotextura consecutivas.

Pode-se observar, por meio dos intervalos entre medições, que em 2014 uma remoção de borracha ocorreu com intervalo de tempo acima do recomendado pela ANAC (2019) para aquele ano, ou seja, 180 dias. Em 2015, esse número subiu para duas remoções que ocorreram com frequência superior a 120 dias, recomendado para aquele ano. Em 2016 ocorreu uma remoção com prazo maior do que o recomendado de 180 dias e em 2018 foram duas remoções realizadas com frequência abaixo da regulamentada.

Em relação às medições de profundidade de macrotextura, em 2014 uma medição ocorreu com intervalo de tempo acima da recomendada pela ANAC (2019), ou seja, 90 dias para aquele ano. Em 2015 foram três medições com prazo fora do recomendado, 60 dias para aquele ano. Em 2016, 2017 e 2018 apenas uma medição ocorreu com prazo superior ao recomendado de 90 dias para cada ano. No Apêndice B encontram-se as médias da profundidade de macrotextura em todo o comprimento da PPD do SBFZ, bem como as profundidades médias de macrotextura.

Ao se analisar os 21 relatórios com as profundidades de macrotextura referentes a todo o comprimento da PPD e a profundidade média da macrotextura obteve-se a Tabela 10. De maneira global, pode ser observado que o terceiro terço, com referência à cabeceira 13, é o

que possui menores profundidades de macrotextura, que podem ser um indicador de presença de borracha acumulada no revestimento.

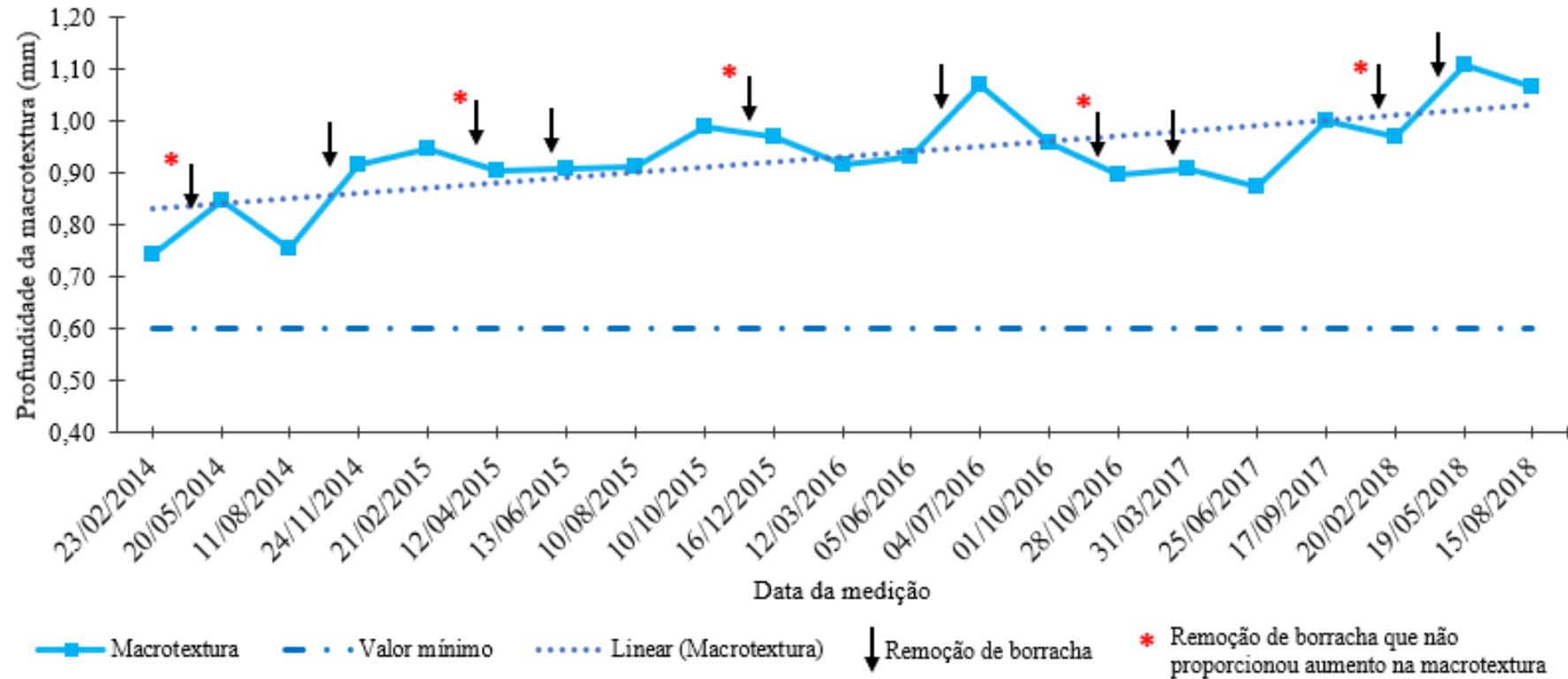
Tabela 10 – Frequência de profundidades de macrotextura segundo classificação da ANAC (2019).

Classificação	Frequência			
	Em todo o comprimento da PPD	1º terço	2º terço	3º terço
Muito fechada	0	0	0	0
Fechada	0	0	0	0
Média	2	2	1	5
Aberta	19	18	19	16
Muito aberta	0	1	1	0

Fonte: elaborado pela autora.

No Gráfico 1 é apresentada a curva da profundidade de macrotextura em todo e comprimento referente ao SBFZ, o valor mínimo exigido pela ANAC (2019) e quando as remoções de borracha acumulada ocorreram. Por meio do gráfico pode-se observar que algumas remoções de borracha não propiciaram aumento na profundidade da macrotextura da PPD do aeródromo. No dia 04/04/2015, antes da medição de macrotextura ocorrida no dia 12/04/2015, foi promovida a remoção de borracha do pavimento, no entanto a profundidade da macrotextura apresentou pequena queda em relação a medição anterior, realizada no dia 21/02/2015. A medição do dia 13/06/2015 manteve-se com profundidade de macrotextura praticamente constante em relação à medição realizada anteriormente no dia 12/04/2015 embora novamente tenha sido realizado o processo de remoção de borracha na pista. No dia 10/11/2015 foi promovida novamente a remoção de borracha, no entanto a medição seguinte a essa data, no dia 16/12/2015 não apresentou melhoria no valor, mas, sim, uma pequena queda. O mesmo ocorreu novamente na medição realizada no dia 28/10/2016, mas de forma mais acentuada e, novamente, no dia 20/02/2018 de forma mais amena.

Gráfico 1 – Profundidade da macrotextura em todo o comprimento da PPD do Aeroporto Internacional de Fortaleza



Fonte: elaborado pela autora.

É possível ainda visualizar no Gráfico 1 a linha de tendência da profundidade de macrotextura no SBFZ. Por meio da tendência linear é possível perceber que houve um aumento da profundidade da macrotextura ao longo dos quatro anos. Isso indica que, de forma geral, o processo se mostrou eficaz, à medida que proporcionou esse aumento na PPD do SBFZ. O coeficiente angular da reta de tendência do Gráfico 1 é 0,00013, o que comprova a eficácia do processo ao longo dos anos, de forma que representa um aumento da profundidade de macrotextura durante o período analisado.

Por meio da Tabela 11 pode-se observar que, das cinco remoções de borracha que não proporcionaram aumento da profundidade de macrotextura na PPD do SBFZ, três foram realizadas com intervalo de tempo superior ao recomendado pela ANAC (2019). Esse fator pode ter influenciado na menor eficiência dessas remoções, em particular.

Tabela 11 – Remoções de borracha que não propiciaram aumento na profundidade da macrotextura

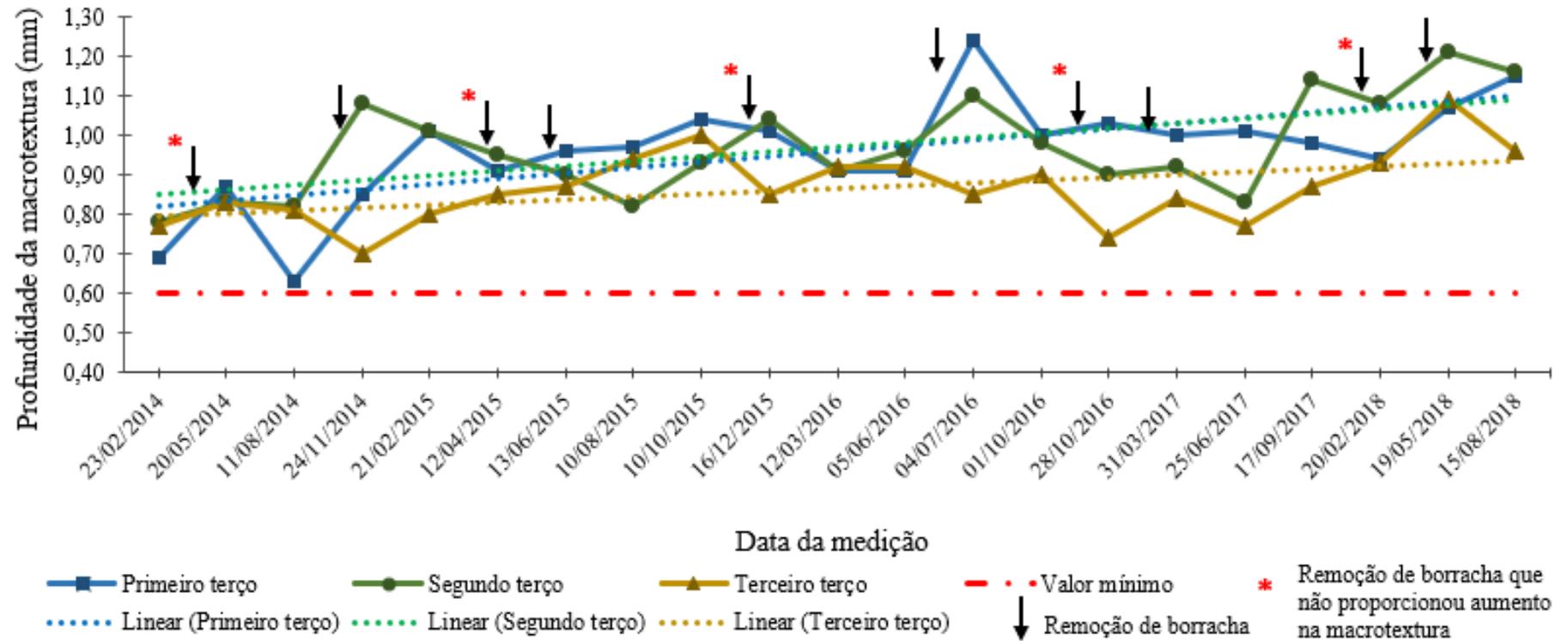
Data da remoção	Intervalo de tempo (dias)	Recomendado (dias)
04/04/2015	134	120
10/06/2015	66	120
10/11/2015	150	120
23/10/2016	113	180
08/11/2017	227	180

Fonte: elaborado pela autora.

No Gráfico 2 é apresentada a profundidade média da macrotextura. Nele pode-se observar agora que, embora não haja nenhum valor menor ou igual a 0,60mm houve uma medição que se aproximou desse limite. Além disso, pode-se agora fazer uma análise mais criteriosa, por terços, da variação da macrotextura medida após a realização da remoção do acúmulo de borracha no pavimento.

É possível ainda visualizar no Gráfico 2 as retas de tendência linear para cada terço da PPD, cujos coeficientes angulares são: 0,00018 no 1º terço, 0,00016 no 2º terço e 0,000093 no 3º terço. Todos os terços da PPD obtiveram melhoria na macrotextura ao longo dos anos, no entanto o 1º terço apresentou-se com resultado melhor, o que se deve a remoção de borracha acumulada da PPD, que é realizada apenas nesse trecho no SBFZ.

Gráfico 2 – Profundidade média da macrotextura na PPD do Aeroporto Internacional de Fortaleza



Fonte: elaborado pela autora.

4.1.2 Coeficiente de Atrito – SBFZ

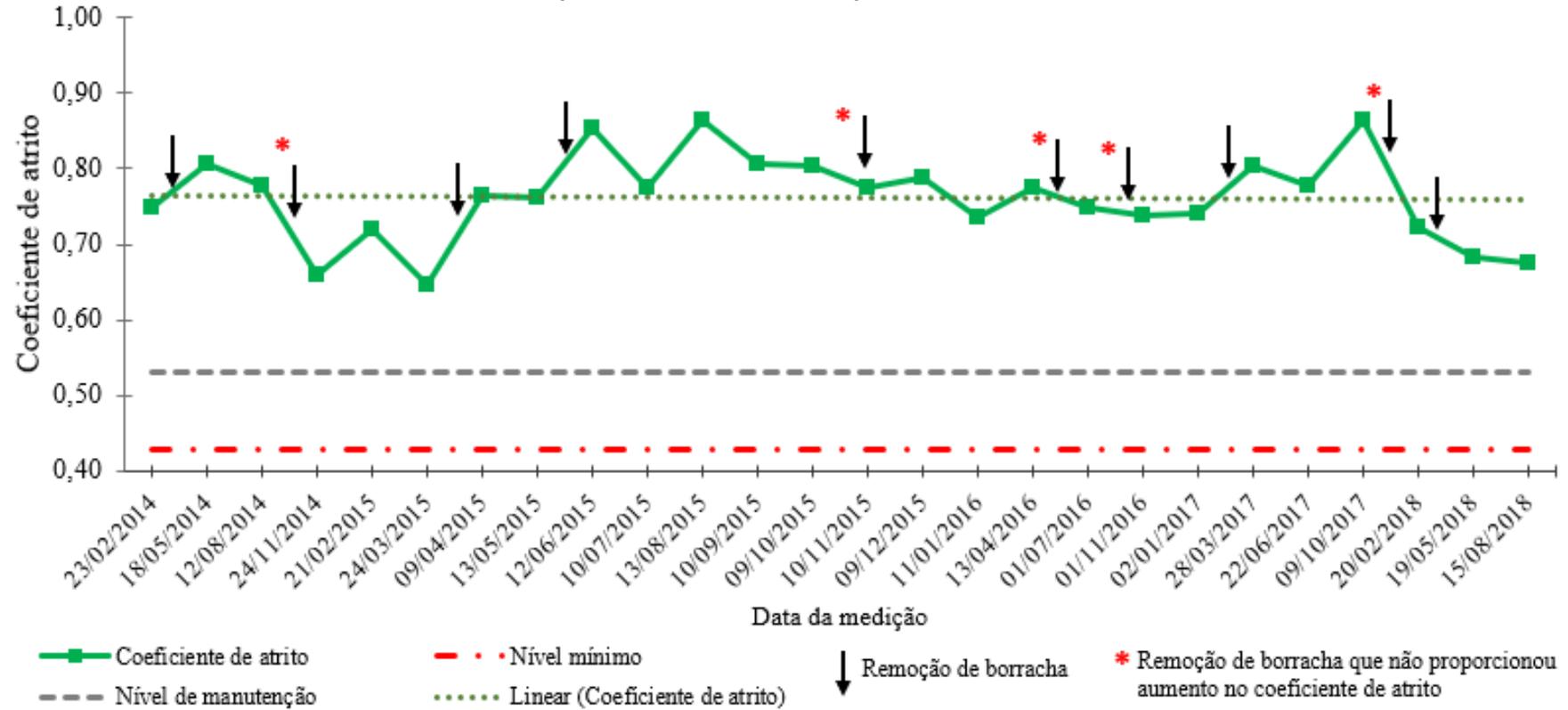
O Apêndice C mostra as datas de remoção de borracha e as datas de medição do coeficiente de atrito na pista do SBFZ, bem como o intervalo em dias entre duas remoções de borracha e medições de coeficiente de atrito consecutivas. Ao se analisar as datas de medição do coeficiente de atrito, percebe-se que em 2014 realizou-se apenas uma medição com intervalo de tempo superior ao recomendado pela ANAC (2019), de 90 dias para aquele ano. Em 2015 esse valor foi de duas medições, que aconteceram com intervalo maior que 60 dias recomendados para aquele ano. Em 2016 foram duas medições realizadas com prazo superior a 90 dias, em 2017 e em 2018 apenas uma em cada ano.

O Apêndice D contém os resultados da medição do coeficiente de atrito. Nele são apresentadas as médias gerais das medições, as médias por terço e as médias por lado do eixo, esquerdo e direito. Como as medições foram realizadas pelo Grip Tester com velocidade de ensaio de 65km/h o nível de manutenção é 0,53 e o nível mínimo é 0,43. Nenhum resultado se apresentou inferior aos níveis exigidos pela ANAC (2019).

No Gráfico 3 é representado o coeficiente de atrito em todo o comprimento da PPD do Aeroporto Internacional de Fortaleza. Nele é possível observar que os valores de coeficiente de atrito se mantiveram sempre acima do nível de manutenção. Além disso, é possível analisar o comportamento do coeficiente de atrito após realizados os processos de remoção de borracha acumulada no pavimento. Ao todo foram realizadas dez remoções de borracha no período analisado, dessas apenas quatro proporcionaram aumento no coeficiente de atrito da PPD após sua realização.

O Gráfico 3 contém ainda a linha de tendência do coeficiente de atrito ao longo do período de análise, cujo coeficiente angular é $-1,714E-05$. Esse valor indica que, embora a linha de tendência aparente ser constante, de forma geral o coeficiente de atrito na PPD do SBFZ obteve pequena queda ao longo dos anos. Essa queda no valor do coeficiente de atrito pode ser explicada pelo fato de que, como já mencionado anteriormente, o hidrojateamento causa o polimento do agregado a longo prazo, o que influencia negativamente o coeficiente de atrito, de maneira que o procedimento de remoção de borracha é eficiente em manter os valores acima dos níveis exigidos, mas dificulta o aumento no seu valor, devido a ocorrência do polimento.

Gráfico 3 – Coeficiente de atrito em todo o comprimento da PPD no Aeroporto Internacional de Fortaleza



Fonte: elaborado pela autora.

Na Tabela 12 são apresentadas as remoções de borracha que não proporcionaram aumento no coeficiente de atrito após sua execução. Nela pode ser visto que de um total de seis remoções, cinco foram realizadas com intervalo de tempo superior ao recomendado pela ANAC (2019), fator que pode ter interferido na diminuição do coeficiente de atrito.

Tabela 12 – Remoções de borracha que não propiciaram aumento no coeficiente de atrito.

Data da remoção	Intervalo de tempo (dias)	Recomendado (dias)
20/11/2014	190	180
10/11/2015	150	120
30/06/2016	230	180
23/10/2016	113	180
08/11/2017	227	180
13/05/2018	185	180

Fonte: elaborado pela autora.

O Gráfico 4 mostra o coeficiente de atrito por lado da PPD (direito e esquerdo). Por meio dele é possível perceber que os lados da PPD têm coeficiente de atrito muito próximo em grande parte do período de análise, apenas em algumas medições o lado esquerdo apresentou valores maiores que o lado direito, e o inverso ocorreu em um número menor ainda de medições. Além disso, por meio das linhas de tendência mostradas, pode-se perceber que ambos os lados da PPD apresentaram valores praticamente constantes ao longo do período de análise, o que é confirmado pelos coeficientes angulares das retas, que para o lado esquerdo tem valor de $-5,344E-06$ e para o lado direito $-2,808E-05$.

No Gráfico 5 são apresentados os valores de coeficiente de atrito por terço da PPD. Por meio dele é possível perceber o que já havia sido observado por meio da macrotextura da PPD, que os valores do coeficiente de atrito se mostram maiores no 1º terço da PPD, devido ao processo de remoção de borracha ser realizado apenas nesse trecho, o que permite a melhoria do seu desempenho quanto à aderência pneu-pavimento. Além disso, também são exibidas as retas de tendência linear para cada terço, cujos valores dos coeficientes angulares das retas são: $-1,671E-05$ para o 1º terço, $-4,696E-06$ para o 2º terço e $-4,222E-05$ para o 3º terço. Pode-se perceber novamente uma melhor condição ao longo do período analisado no 1º terço da PPD.

Gráfico 4 – Coeficiente de atrito por lado da PPD no Aeroporto Internacional de Fortaleza

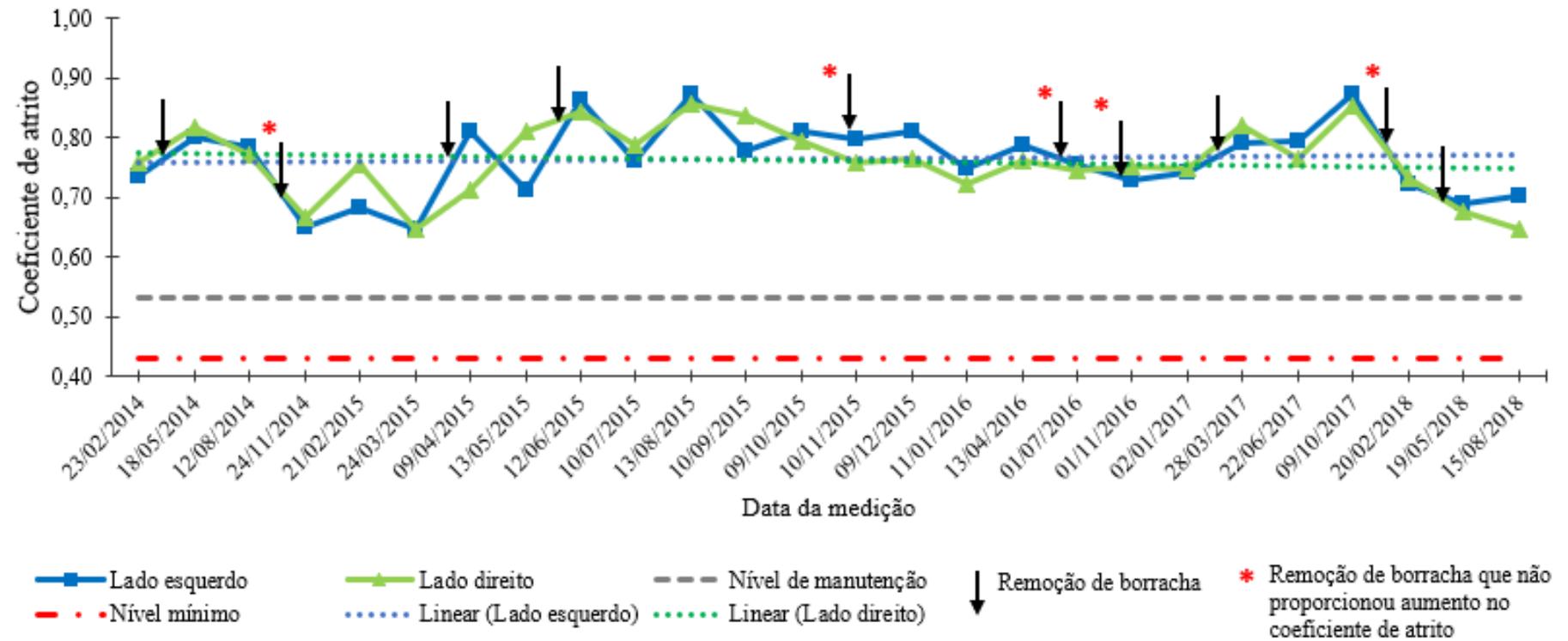
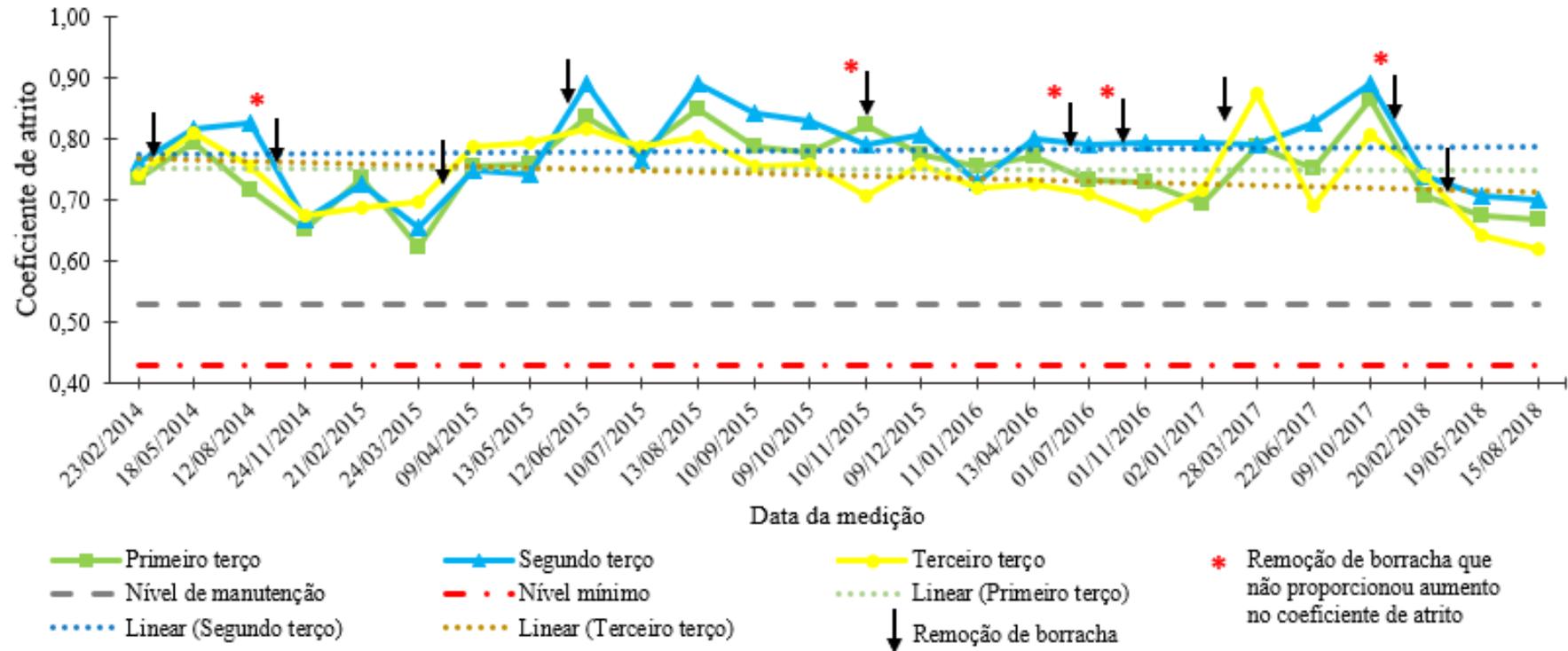


Gráfico 5 – Coeficiente de atrito por terços na PPD do Aeroporto Internacional de Fortaleza



Fonte: elaborado pela autora.

4.2 Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont – SBRJ

Esta seção contém os resultados e discussões obtidos acerca das análises da macrotextura e do coeficiente de atrito da PPD do SBRJ quando realizados os processos de remoção de borracha acumulada.

4.2.1 Macrotextura – SBRJ

O Apêndice E mostra as datas de remoção de borracha e as datas de medição da profundidade da macrotextura na PPD do Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont, bem como o intervalo em dias entre duas remoções de borracha e medições de macrotextura consecutivas. Pode-se observar por meio dos intervalos entre as medições, que nos anos de 2015 e 2017 uma remoção de borracha ocorreu com intervalo de tempo superior ao recomendado pela ANAC (2019) para aquele ano, ou seja, 120 dias. Em 2018 também houve uma remoção de borracha realizada com intervalo de tempo superior ao recomendado para aquele ano, ou seja, 180 dias.

Em relação às medições de profundidade da macrotextura, duas medições analisadas em 2017 ocorreram com intervalo de tempo superior ao recomendado pela ANAC (2019) para aquele ano, ou seja, 60 dias. Em 2018, houve uma medição executada com intervalo de tempo superior ao recomendado para aquele ano, ou seja, 90 dias. No Apêndice F são exibidas as médias da profundidade de macrotextura em todo o comprimento da PPD do SBRJ, bem como as profundidades médias de macrotextura. Por meio dos resultados, é possível notar que três valores referentes a profundidade média de macrotextura do 1º terço encontram-se abaixo do recomendado pela ANAC (2019), ou seja, 1,2mm para CPA.

Ao se analisar as profundidades de macrotextura em todo o comprimento da PPD e por terços elaborou-se a Tabela 13. Por meio da frequência de profundidades de macrotextura do Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont pode-se perceber que 100% da macrotextura analisada, por meio dos 20 relatórios disponíveis, é classificada como muito aberta. Ao se analisar as macrotexturas por terços pode-se perceber que o 1º terço, a partir da cabeceira 02R, cabeceira secundária, tem 15% da macrotextura classificada como aberta, enquanto o 2º e 3º terços possuem 100% da macrotextura muito aberta.

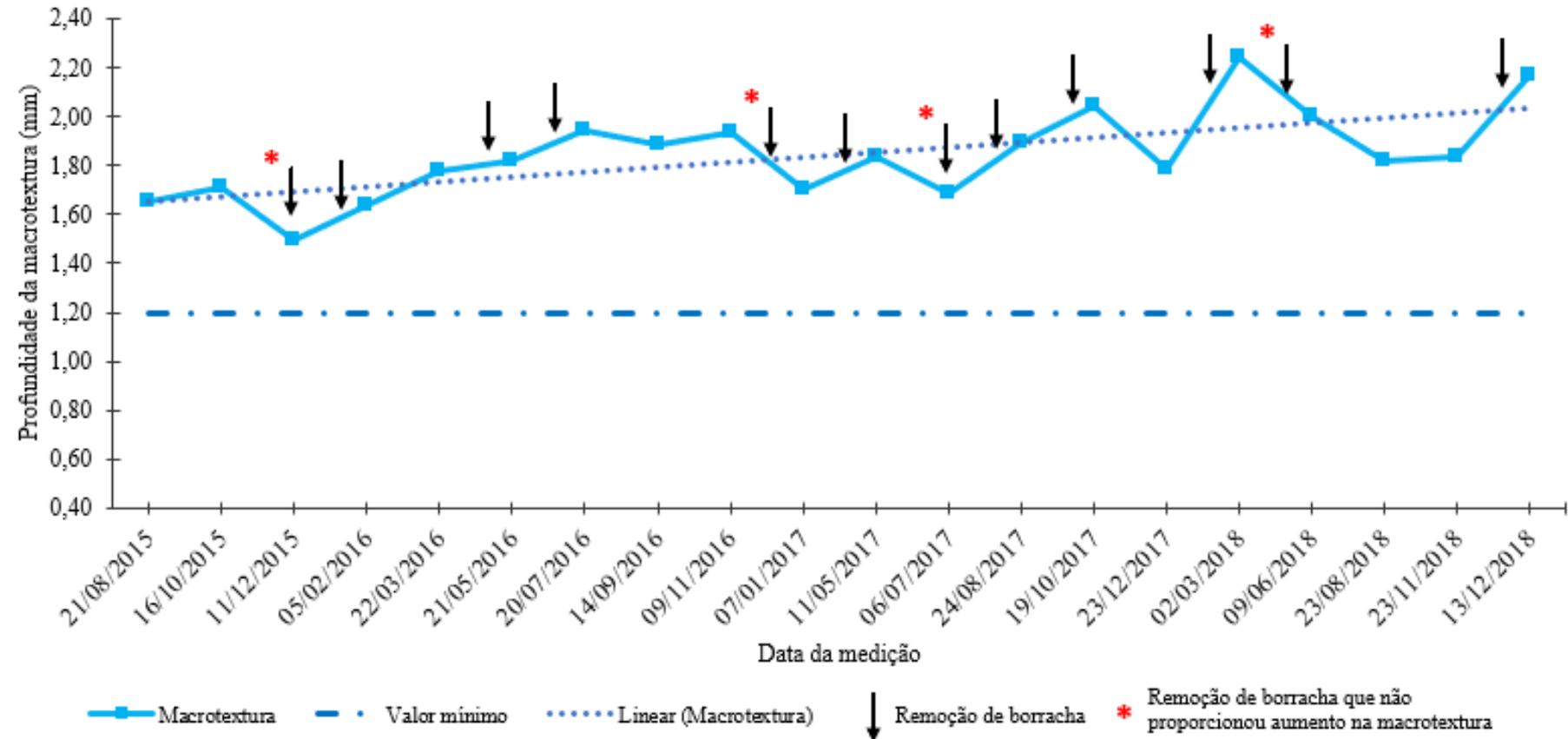
Tabela 13 – Frequência de profundidades de macrotextura segundo classificação da ANAC (2019).

Classificação	Frequência			
	Em todo o comprimento da PPD	1º terço	2º terço	3º terço
Muito fechada	0	0	0	0
Fechada	0	0	0	0
Média	0	0	0	0
Aberta	0	3	0	0
Muito aberta	20	17	20	20

Fonte: elaborado pela autora.

No Gráfico 6 é apresentada a profundidade da macrotextura em todo o comprimento da PPD. Por meio dele, é possível notar que os valores se mantiveram distantes do valor mínimo exigido. Pode-se perceber que algumas remoções de borracha não proporcionaram aumento na profundidade da macrotextura após sua execução. Em um total de doze remoções de borracha acumulada que foram realizadas no período em análise, quatro causaram diminuição da profundidade da macrotextura, e não um aumento. Ademais, é possível notar também, por meio da linha de tendência apresentada no gráfico e do seu respectivo coeficiente angular da reta, cujo valor é 0,00029, que a macrotextura do SBRJ apresentou aumento durante o período de análise.

Gráfico 6 – Profundidade da macrotextura em todo o comprimento da PPD do Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont



Fonte: elaborado pela autora.

A Tabela 14 apresenta as remoções de borracha que não proporcionaram aumento na profundidade da macrotextura. Por meio dela pode ser visto que dentre as quatro remoções de borracha, duas ocorreram em intervalo de tempo superior ao recomendado pela ANAC (2019), o que pode ter influenciado na menor eficiência dessas remoções em aumentar a profundidade da macrotextura.

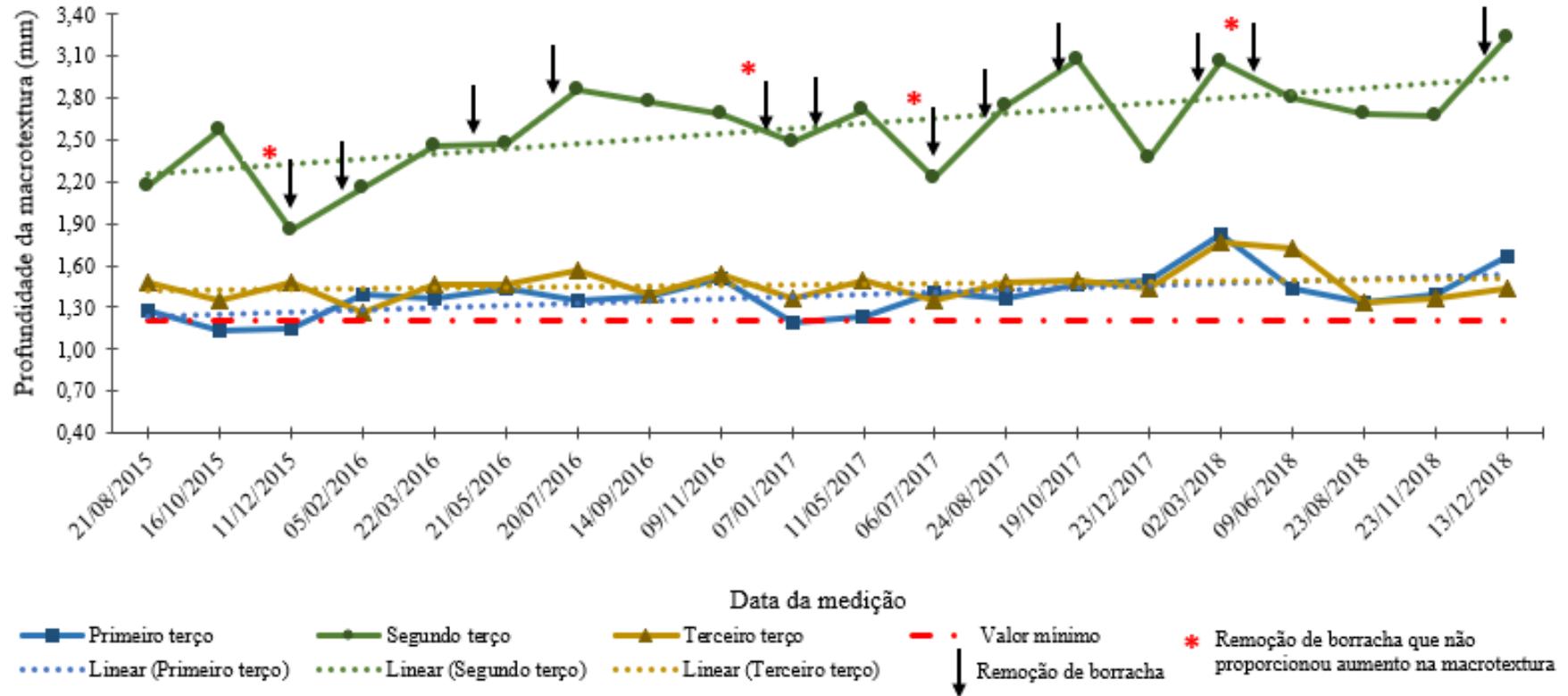
Tabela 14 – Remoções de borracha que não propiciaram aumento na profundidade da macrotextura

Data da remoção	Intervalo de tempo (dias)	Recomendado (dias)
11/12/2015	157	120
12/11/2016	116	120
06/07/2017	168	120
20/04/2018	49	180

Fonte: elaborado pela autora.

O Gráfico 7 apresentada a profundidade média da macrotextura do Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont. Por meio dele é possível perceber agora que três valores referentes ao primeiro terço estiveram abaixo do nível mínimo requerido a CPA pela ANAC (2019) e que outros estiveram bem próximos do nível mínimo, de 1,2mm. Ademais, pode-se notar que o segundo terço da PPD é o que apresenta maiores valores de profundidade de macrotextura, o que pode ser explicado pelo fato de que as operações de pouso e decolagem ocorrem no primeiro e terceiro terço, o que possibilita que a borracha seja acumulada em maiores quantidades nesses trechos, e, portanto, diminui a macrotextura nas regiões de toque das aeronaves, devido ao acúmulo de borracha e ao próprio desgaste do pavimento.

Gráfico 7 – Profundidade média da macrotextura na PPD do Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont



Fonte: elaborado pela autora.

Além disso, o Gráfico 7 também apresenta as linhas de tendência do comportamento linear da profundidade média da macrotextura da PPD, cujos coeficientes angulares são: 0,000228 para o 1º terço, 0,000541 para o 2º terço e 0,000062 para o 3º terço. Novamente percebe-se uma melhor condição de macrotextura no 2º terço, devido ao maior coeficiente angular, o que indica que para esse terço foi propiciado um maior acréscimo ao longo do período em análise. Também é possível perceber uma pior condição do 3º terço, onde fica localizada a cabeceira predominante para voos, 20L, ou seja, principal zona de toque das aeronaves.

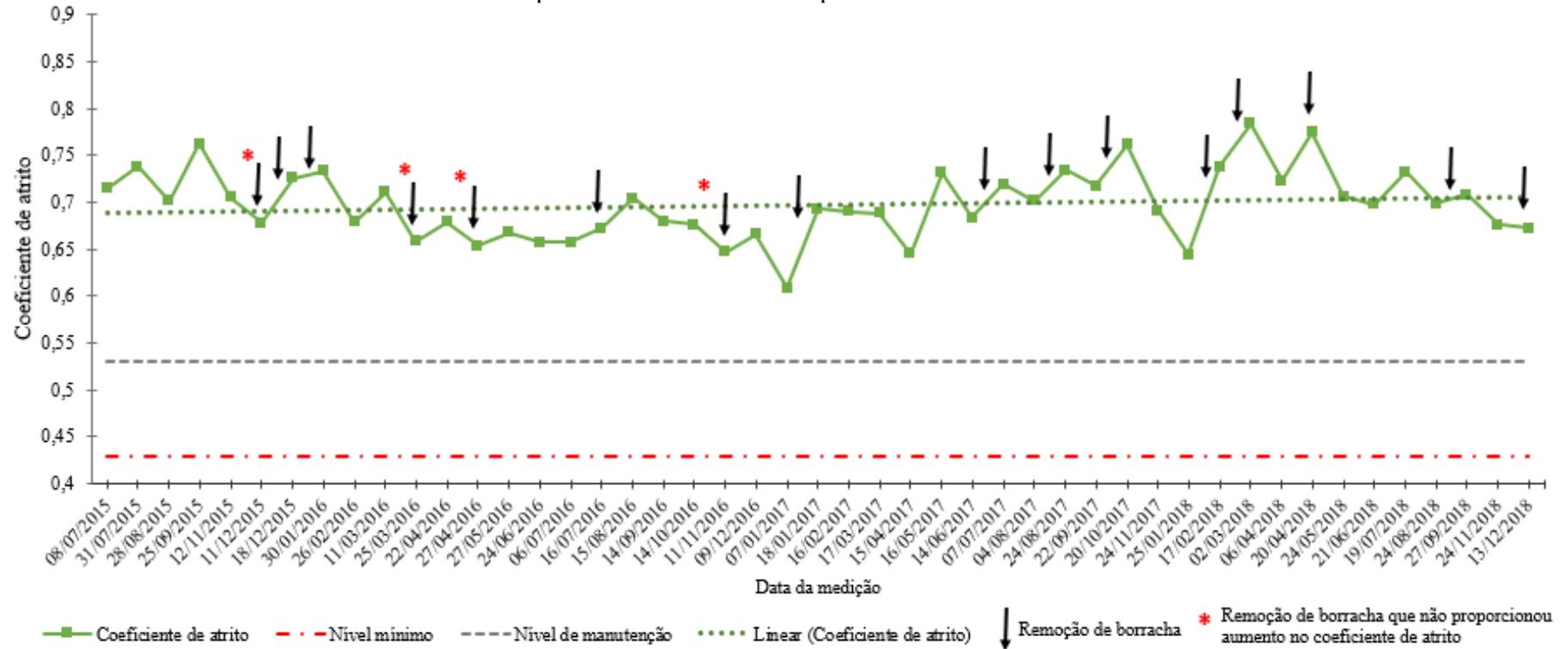
4.2.2 Coeficiente de atrito – SBRJ

No Apêndice G são exibidas as datas de remoção de borracha e as datas de medição do coeficiente de atrito, bem como o intervalo entre duas medições e duas remoções consecutivas. Ao se analisar as datas em que foram realizadas as medições de coeficiente de atrito é possível observar que nenhuma das medições foi realizada com intervalo de tempo superior ao recomendado pela ANAC (2019). No entanto, em relação ao processo de remoção de borracha acumulada, houve algumas com ocorrência em intervalo superior ao recomendado pela ANAC (2019). As remoções realizadas nos dias 11/12/2015 e 06/07/2017 ocorreram com intervalo de tempo superior ao recomendado para aquele ano, ou seja, 120 dias.

No Apêndice H são exibidos os resultados das medições de coeficiente de atrito na PPD em análise do SBRJ. Nela são mostradas as médias gerais de cada medição, assim como os valores de coeficiente de atrito por terço e por lado da pista (esquerdo e direito). Como as medições foram realizadas pelo Grip Tester com velocidade de ensaio de 65 km/h o nível de manutenção é 0,53 e o nível mínimo do coeficiente de atrito é 0,43. Nenhum valor se mostrou abaixo do nível de manutenção e do nível mínimo.

No Gráfico 8 é apresentado o coeficiente de atrito em todo o comprimento da PPD do SBRJ, bem como os níveis mínimo e de manutenção. Por meio dele é possível notar que os valores de coeficiente de atrito se mantiveram distantes do nível mínimo e de manutenção. Além disso, ao observar a linha de tendência, pode-se perceber que ao longo do período analisado o coeficiente de atrito não sofreu aumento, de maneira que se manteve constante. Além do mais, no Gráfico 8 é mostrada a ocorrência do processo de remoção de borracha.

Gráfico 8 – Coeficiente de atrito em todo o comprimento da PPD do Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont



Fonte: elaborado pela autora.

Na Tabela 15 são exibidas as remoções de borracha que não proporcionaram aumento no coeficiente de atrito da PPD. Dentre as quatro remoções de borracha, uma ocorreu com intervalo de tempo superior ao recomendado pela ANAC (2019).

Tabela 15 – Remoções de borracha que não propiciaram aumento no coeficiente de atrito.

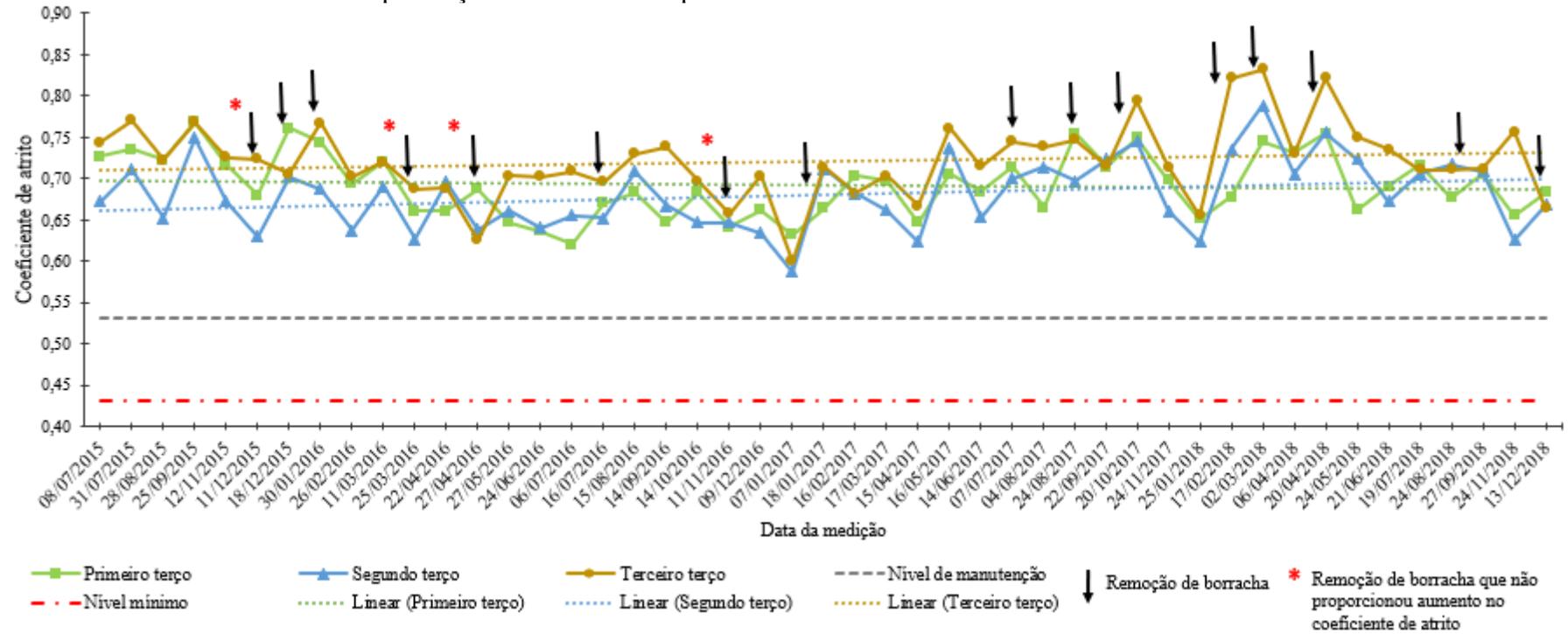
Data da remoção	Intervalo de tempo (dias)	Recomendado (dias)
11/12/2015	157	120
25/03/2016	58	120
27/04/2016	32	120
11/11/2016	115	120

Fonte: elaborado pela autora.

No Gráfico 9 são representados os coeficientes de atrito por terço da PPD. Por meio dele pode ser observado que o 3º terço, a partir da cabeceira 02R, apresenta os maiores valores de coeficiente de atrito e o segundo terço apresenta os menores valores, porém muito próximos dos valores do primeiro terço. Além disso, são apresentadas as linhas de tendência do coeficiente de atrito por terços da PPD, cujos coeficientes angulares das retas são: $-6,390E-06$ para o 1º terço, $3,168E-05$ para o 2º terço e $2,009E-05$ para o 3º terço. Pode-se perceber que o 1º terço foi o único que teve diminuição no coeficiente de atrito ao longo do período analisado, de acordo com o coeficiente angular da reta, o que pode ser explicado pela ocorrência de operações de pouso e decolagem nesse terço da PPD, o que propicia maior acúmulo de borracha na superfície do pavimento, além da sua própria deterioração.

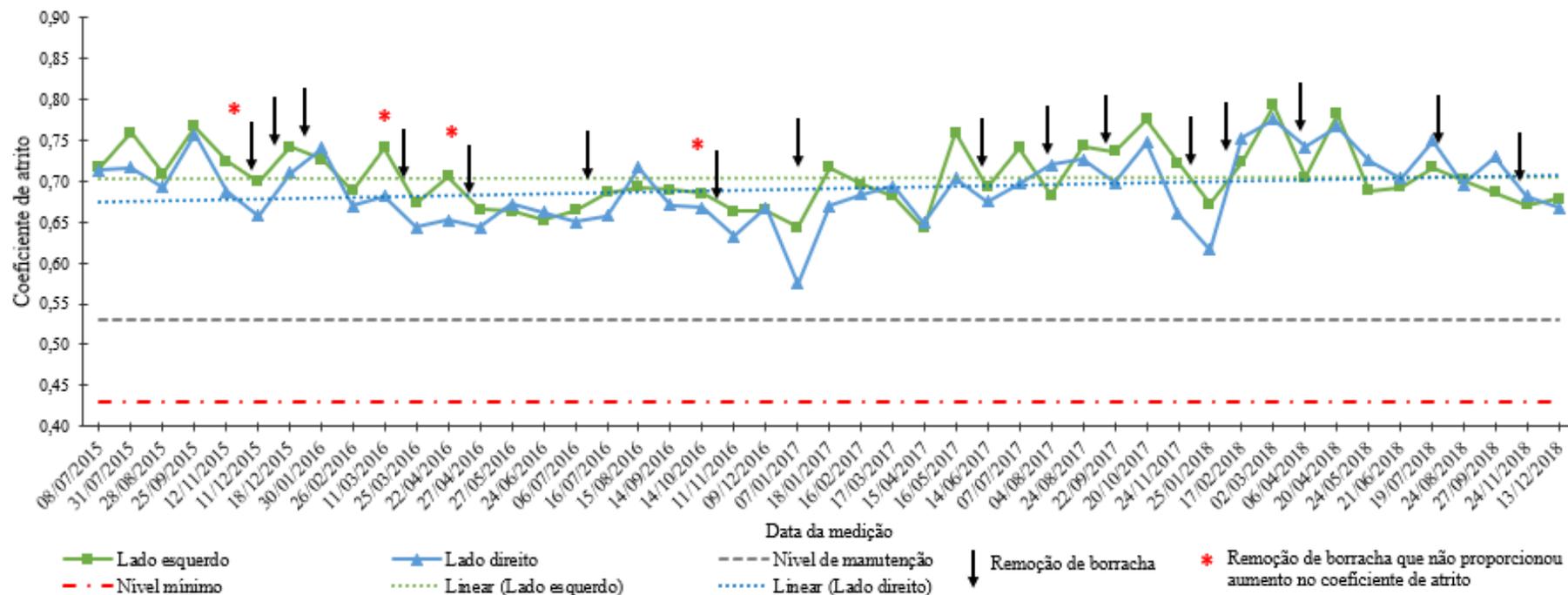
No Gráfico 10 o coeficiente de atrito é representado por lado da PPD (direito e esquerdo). Por meio dele pode ser observado que os valores de coeficiente de atrito do lado esquerdo são maiores que os valores do lado direito. Além disso, são apresentadas as linhas de tendência do coeficiente de atrito para cada trecho, cujos coeficientes angulares das retas são $6,739E-07$ para o lado esquerdo e $2,892E-05$. Esses valores mostram que, embora com a pequena diferença entre os valores, o lado direito apresentou maior crescimento ao longo do período analisado.

Gráfico 9 – Coeficiente de atrito por terços na PPD do Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont



Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 10 – Coeficiente de atrito por lado da PPD no Aeroporto do Rio de Janeiro/ Santos Dumont.



Fonte: elaborado pela autora.

4.3 Aeroporto de São Paulo/Congonhas – SBSP

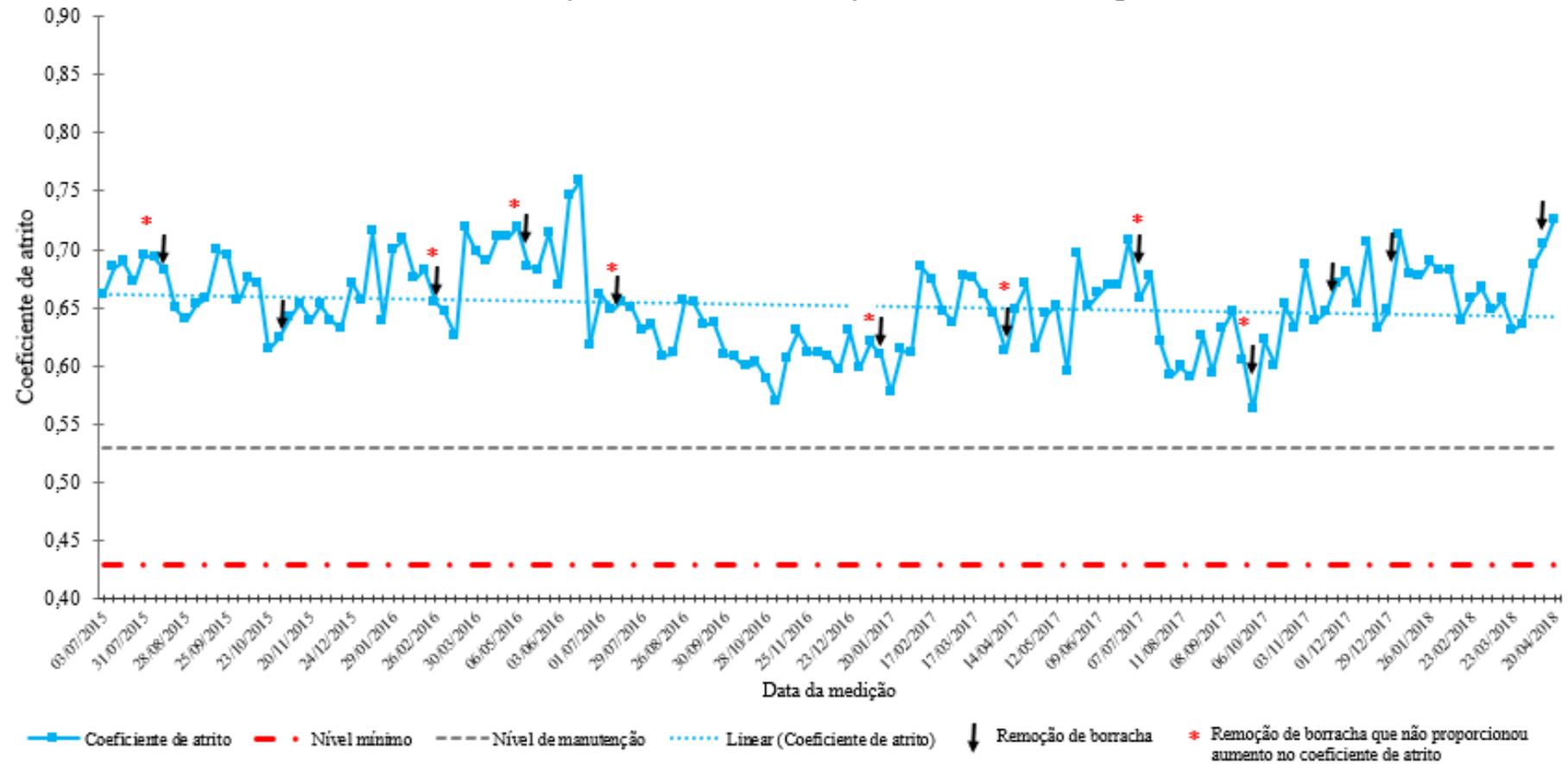
Esta seção contém os resultados e discussões obtidos acerca das análises do coeficiente de atrito da PPD do Aeroporto de São Paulo/Congonhas quando realizados os processos de remoção de borracha acumulada.

No Apêndice I são exibidas as datas de realização do processo de remoção de borracha acumulada e as datas das medições do coeficiente de atrito, bem como os dias entre duas remoções e medições consecutivas. Por meio dos resultados pode ser observado que nenhuma medição do coeficiente de atrito na PPD do SBSP ocorreu com intervalo de tempo superior ao recomendado pela ANAC (2019). No entanto uma remoção de borracha acumulada, ocorrida em 2017, foi executada com intervalo superior ao recomendado para aquele ano, ou seja, 90 dias.

O Apêndice J contém os resultados da medição do coeficiente de atrito da PPD do SBSP. Nela são apresentadas as médias gerais das medições, as médias por terço e por lado da pista (esquerdo e direito). Como as medições foram realizadas pelo Grip Tester com velocidade de ensaio de 65 km/h, o nível de manutenção do coeficiente de atrito é 0,53 e o nível mínimo é 0,43. Nenhum valor está abaixo dos níveis exigidos.

No Gráfico 11 é representado o coeficiente de atrito em todo o comprimento da PPD, bem como os níveis mínimo e de manutenção, a ocorrência do processo de remoção do acúmulo e borracha e a reta de tendência linear. Por meio dele é possível perceber que nenhum dos valores atingiu o nível mínimo ou o nível de manutenção estabelecido pela ANAC (2019). Além disso, é possível observar por meio da linha de tendência apresentada que o coeficiente de atrito apresentou queda ao longo do período de análise, fato que é confirmado pelo coeficiente angular da reta, cujo valor é $-1,90E-05$.

Gráfico 11 – Coeficiente de atrito em todo o comprimento da PPD do Aeroporto de São Paulo/Congonhas



Fonte: elaborado pela autora.

A Tabela 16 apresenta as remoções de borracha que não proporcionaram aumento no coeficiente de atrito após sua realização. Por meio dela é possível observar que dentre as doze remoções de borracha que foram promovidas ao longo do período de análise, oito não proporcionaram aumento do coeficiente de atrito e que nenhuma dessas oito ocorreu com intervalo de tempo superior ao recomendado pela ANAC (2019).

Tabela 16 – Remoções de borracha que não propiciaram aumento no coeficiente de atrito.

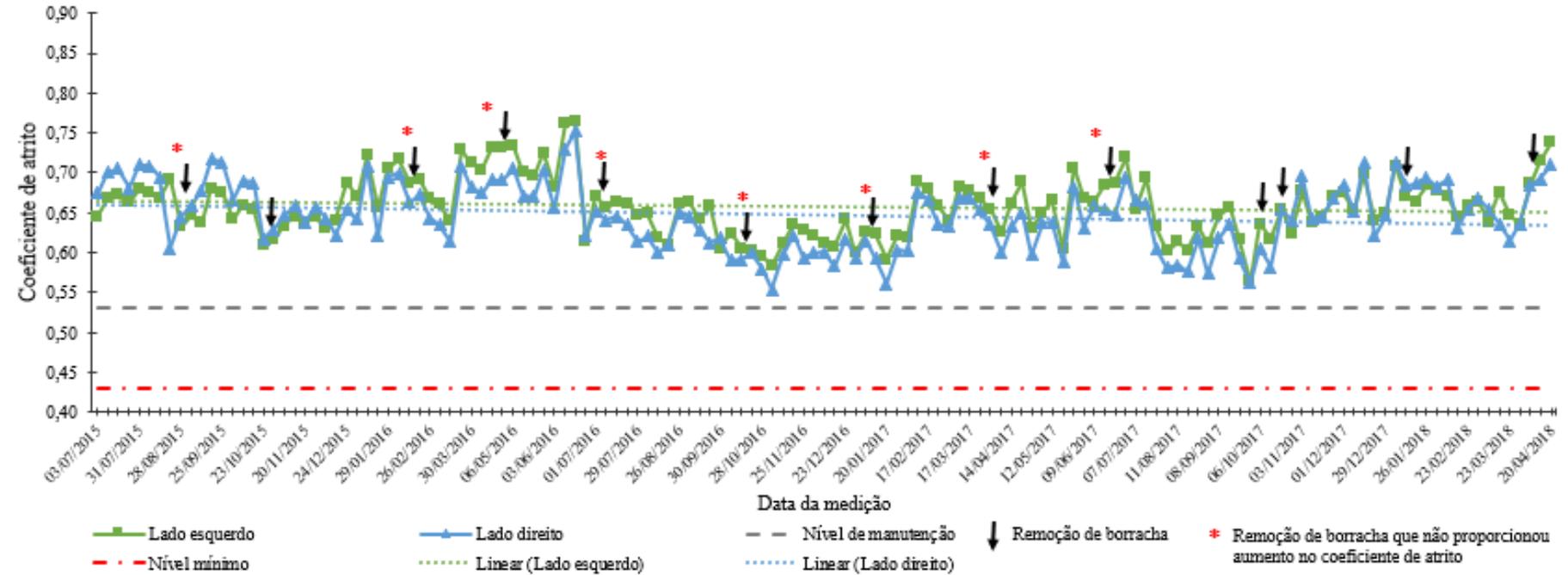
Data da remoção	Intervalo de tempo (dias)	Recomendado (dias)
13/08/2015	89	90
26/10/2015	73	90
03/02/2016	97	120
28/04/2016	85	120
07/07/2016	69	120
08/10/2016	89	120
06/01/2017	89	90
31/03/2017	84	90

Fonte: elaborado pela autora.

O Gráfico 12 mostra o coeficiente de atrito por lado da PPD (direito e esquerdo). Nele é possível perceber que o lado esquerdo da PPD é o que possui melhor coeficiente de atrito. Por meio do Gráfico 12 é possível perceber também que alguns valores de coeficiente de atrito do lado direito da PPD estiveram bem próximos do nível de manutenção. Além disso, o Gráfico 12 mostra as linhas de tendência do coeficiente de atrito da PPD do SBSP, cujos coeficientes de angulares da reta são: $-1,254E-05$ para o lado esquerdo e $-2,631E-05$ para o lado direito, que houve uma diminuição no coeficiente de atrito ao longo dos anos, com mais intensidade no lado direito.

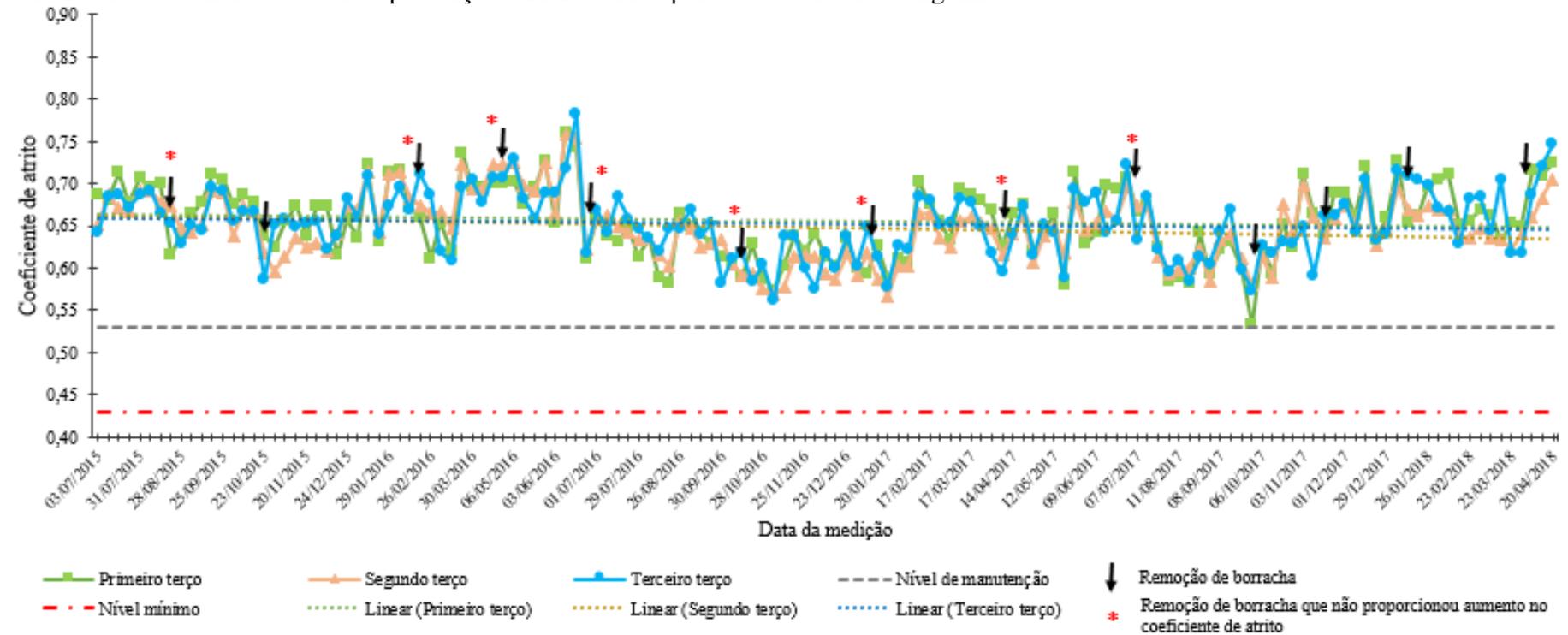
No Gráfico 13 é representado o coeficiente de atrito por terço da PPD. Por meio dele é possível notar que o primeiro e o terceiro terços são os que apresentam melhores valores de coeficiente de atrito, embora os três terços apresentem valores muito próximos. É possível ainda notar que houve uma medição de atrito do primeiro terço da PPD que atingiu o valor de manutenção. Além disso, o Gráfico 13 mostra as linhas de tendência do coeficiente de atrito de cada terço da PPD do SBSP, cujos valores são: $-1,722E-05$ para o 1º terço, tendo como referência a cabeceira 17R, $-2,628E-05$ para o 2º terço e $-1,341E-05$ para o 3º terço. Esses valores mostram que o coeficiente de atrito de ambos os terços diminuiu ao longo do período de análise.

Gráfico 12 – Coeficiente de atrito por lado da PPD no Aeroporto de São Paulo/Congonhas



Fonte: elaborado pela autora.

Gráfico 13 – Coeficiente de atrito por terço da PPD no Aeroporto de São Paulo/Congonhas



Fonte: elaborado pela autora.

4.4 Análise comparativa geral entre os três aeroportos

Nesta seção é apresentada uma análise comparativa da eficiência da remoção de borracha acumulada na PPD dos três aeroportos. Essa análise se dá por meio da comparação entre a macrotextura, do coeficiente de atrito e do processo de remoção de borracha das PPD dos três aeroportos em estudo.

4.4.1 Macrotextura

A Tabela 17 mostra o coeficiente angular da reta de tendência linear dos gráficos de macrotextura. A comparação não é realizada com o SBSP devido a ANAC não exigir medição de macrotextura em revestimentos compostos por *grooving*. Por meio dela pode-se verificar que a variação da macrotextura ao longo do período de análise apesar de ser positiva é muito pequena. É possível notar, ainda, que a inclinação da reta de macrotextura da PPD do SBRJ é mais que o dobro da inclinação do SBFZ, ou seja, a macrotextura apresentou maior crescimento na PPD do SBRJ. Além disso, ao se analisar ambas as PPD por terços, percebe-se que apenas o 3º terço da PPD do SBFZ é maior que o 3º terço do SBRJ. Essa diferença deve-se ao fato de que o 3º terço do SBRJ é onde fica localizada a cabeceira principal, 20L, de forma que é onde há maior toque das aeronaves, por isso o menor desempenho.

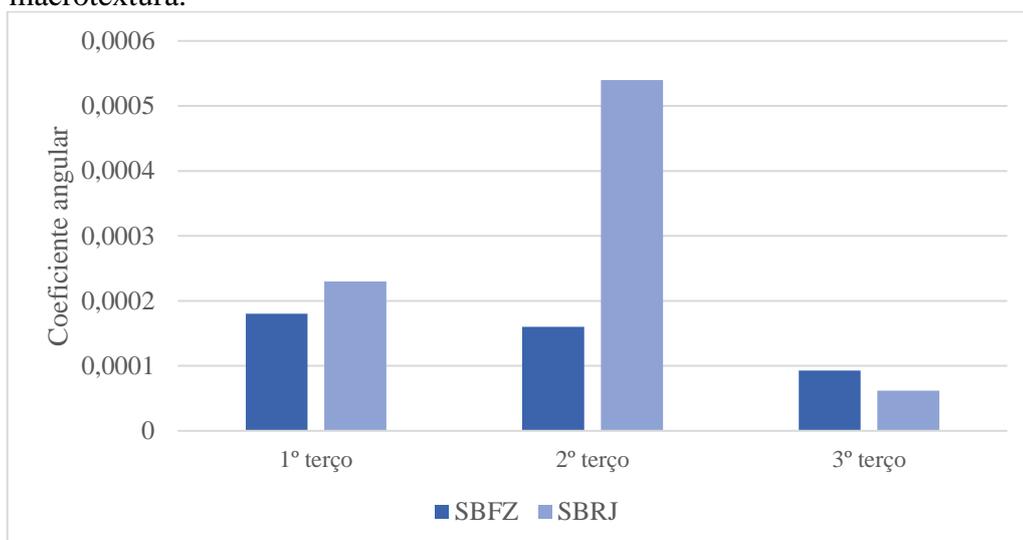
Tabela 17 – Coeficiente angular da reta dos gráficos de macrotextura

Revestimento	Aeroporto	Comprimento	1º terço	2º terço	3º terço
CA	SBFZ	0,00013	0,00018	0,00016	0,000093
CPA	SBRJ	0,00029	0,00023	0,00054	0,000062

Fonte: elaborado pela autora.

O Gráfico 14 apresenta os resultados de coeficiente angular das retas de profundidade média de macrotextura, por meio dele pode-se observar agora visualmente as diferenças entre os valores observados nos dois aeroportos analisados. Percebe-se a grande diferença entre o coeficiente angular da reta do 2º terço da PPD do SBRJ e os demais terços analisados dos dois aeroportos.

Gráfico 14 – Coeficiente angular da reta dos gráficos de profundidade média de macrotextura.



Fonte: elaborado pela autora.

A Tabela 18 apresenta os parâmetros estatísticos da profundidade de macrotextura. Por meio dela é possível perceber que o SBRJ possui maior profundidade de macrotextura, no entanto possui desvio padrão muito elevado, o que pode ser explicado pelo fato de o Concreto Asfáltico ser um revestimento homogêneo, o que proporciona profundidades de macrotextura com variação muito pequena. Contudo, a Camada Porosa de Atrito é um revestimento heterogêneo, de maneira que é esperado maior variação nas profundidades de macrotextura, quando comparadas ao Concreto Asfáltico.

Tabela 18 – Parâmetros estatísticos da macrotextura

	Aeroporto	SBFZ (CA)	SBRJ (CPA)
PPD em todo o comprimento	Média	0,93	1,84
	Desvio Padrão	0,18	0,73
	Coefficiente de variação	0,19	0,39
1º terço	Média	0,96	1,39
	Desvio Padrão	0,13	0,16
	Coefficiente de variação	0,14	0,12
2º terço	Média	0,97	2,60
	Desvio Padrão	0,12	0,34
	Coefficiente de variação	0,13	0,13
3º terço	Média	0,87	1,46
	Desvio Padrão	0,09	0,12
	Coefficiente de variação	0,11	0,08

Fonte: elaborado pela autora.

Em relação aos terços, pode-se perceber que a macrotextura do SBFZ apresenta maior média no 1º e 2º terço, devido ao processo de remoção de borracha não ser realizado no 3º terço, era esperado que ele apresentasse menor valor para média. Além disso, era esperado menor desvio padrão, visto que a presença de borracha no revestimento diminui a profundidade de macrotextura e torna o revestimento ainda mais homogêneo, fator que diminui a variação da profundidade de macrotextura.

Ao contrário do SBFZ, o SBRJ apresentou maior média de macrotextura no 2º terço, único terço que não é realizado o processo de remoção de borracha. Essa contradição pode ser explicada pelo fato de que, embora não seja realizada remoção de borracha no 3º terço da PPD do SBFZ, esse trecho é ocasionalmente utilizado em operações de pouso, ao contrário do 2º trecho do SBRJ, que por não ser cabeceira, não é utilizado em operações de pouso, portanto não apresenta quantidade significativa de borracha acumulada.

4.4.2 Coeficiente de atrito

A Tabela 19 mostra o coeficiente angular da reta de tendência linear do coeficiente de atrito das PPD analisadas. Por meio dela pode-se notar que os valores de coeficiente de atrito de todas as PPD se mantiveram praticamente constantes ao longo do período de estudado, com pequena variação positiva na PPD do SBRJ e pequenas variações negativas no SBFZ e SBSP.

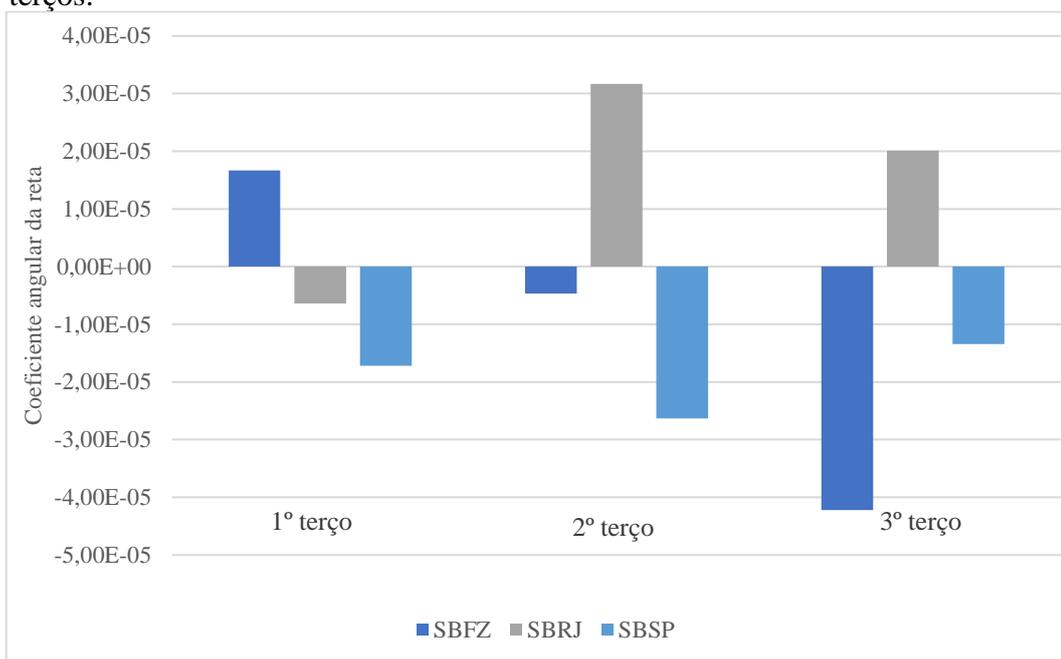
Tabela 19 – Coeficiente angular da reta dos gráficos de coeficiente de atrito.

Revest.	Aero.	Comprim.	LE	LD	1º terço	2º terço	3º terço
CA	SBFZ	-1,71E-05	-5,34E-06	-2,81E-05	-1,67E-05	-4,70E-06	-4,22E-05
CPA	SBRJ	1,48E-05	6,74E-07	2,89E-05	-6,39E-06	3,17E-05	2,01E-05
Grooving	SBSP	-1,90E-05	-1,26E-05	-2,63E-05	-1,72E-05	-2,63E-05	-1,34E-05

Fonte: elaborado pela autora.

O Gráfico 15 apresenta o coeficiente angular das retas de coeficiente de atrito, de maneira que pode-se observar visualmente as diferenças entre os valores dos terços das três PPD analisadas. Por meio dele, fica clara a diferença entre os valores do SBRJ e dos demais aeroportos, de maneira que esse apresentou melhor desempenho.

Gráfico 15 – Coeficiente angular da reta dos gráficos de coeficiente de atrito por terços.



Fonte: elaborado pela autora.

O pior desempenho do processo de remoção de borracha em aumentar o coeficiente de atrito, comparado ao aumento proporcionado à profundidade de macrotextura, pode ser explicado pelo fato de que a remoção tem influência direta sobre a profundidade de macrotextura, pois ao ser realizada a remoção de acúmulo de borracha, a macrotextura tende a ficar imediatamente mais aberta. O aumento do coeficiente de atrito envolve outros fatores, como o clima, o tráfego e o desgaste do pavimento, não apenas a macrotextura do revestimento.

A Tabela 20 apresenta os parâmetros estatísticos do coeficiente de atrito. Por meio dela é possível notar que os três aeroportos apresentaram médias muito próximas e pequenos desvios padrões. Os pequenos desvios padrões confirmam o que já foi mostrado pelo coeficiente angular das retas, de que não houve grandes variações nos valores de coeficiente de atrito em nenhum dos aeródromos.

Tabela 20 – Parâmetros estatísticos do coeficiente de atrito

	Aeroporto	SBFZ (CA)	SBRJ (CPA)	SBSP (<i>Grooving</i>)
PPD geral	Média	0,76	0,70	0,65
	Desvio Padrão	0,06	0,04	0,02
	Coefficiente de variação	0,08	0,06	0,03
1º terço	Média	0,75	0,69	0,66
	Desvio Padrão	0,06	0,04	0,04
	Coefficiente de variação	0,08	0,06	0,06
2º terço	Média	0,78	0,68	0,65
	Desvio Padrão	0,08	0,04	0,04
	Coefficiente de variação	0,08	0,06	0,06
3º terço	Média	0,74	0,72	0,65
	Desvio Padrão	0,06	0,05	0,04
	Coefficiente de variação	0,08	0,06	0,06

Fonte: elaborado pela autora.

4.4.3 Eficiência das medições de coeficiente de atrito, macrotextura e procedimentos remoção de borracha acumulada

A Tabela 21 mostra a eficiência das medições de coeficiente de atrito, profundidade de macrotextura e remoções de borracha acumulada. Nela podem ser vistos, para cada uma das operações, a quantidade que foi realizada com frequência em desacordo com a ANAC (2019). Percebe-se que o SBSP apresentou menor número de inadequações, seguido pelo SBRJ e por fim, pelo SBFZ.

Tabela 21 – Eficiência das operações realizadas nos aeroportos

Revestimento	Aeroporto	Nº de remoções de borracha com frequência inadequada	Nº de medições de atrito com frequência inadequada	Nº de medições de macrotextura com frequência inadequada
CA	SBFZ	6	7	7
CPA	SBRJ	3	0	3
<i>Grooving</i>	SBSP	1	0	-

Fonte: elaborado pela autora.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões obtidas com o desenvolvimento deste trabalho. Aqui serão feitos comentários acerca do grau de influência do processo de remoção de borracha sobre a macrotextura e o coeficiente de atrito dos revestimentos analisados.

5.1 Principal contribuição do trabalho

Por meio deste trabalho, pode-se concluir que o parâmetro de aderência pneu-pavimento que é mais influenciado pelo procedimento de remoção de acúmulo de borracha é a profundidade de macrotextura, uma vez que apresentou coeficiente angular das retas analisadas positivo. Além disso, pode-se perceber que o revestimento mais adequado ao uso em aeródromos, no que diz respeito ao melhor desempenho da aderência pneu-pavimento é a Camada Porosa de Atrito. Por fim, pode-se perceber que há lacunas na realização das medições de coeficiente de atrito e profundidade de macrotextura, no que diz respeito aos prazos, que devem ser melhor analisadas pelos operadores de aeródromos.

5.2 Principais constatações

Por meio das análises realizadas neste trabalho, é possível concluir que o processo de remoção de borracha apresentou ser mais eficiente na melhoria da profundidade de macrotextura do que no coeficiente de atrito. Esse fato se deve à maior inclinação da reta de tendência linear para todos os gráficos de macrotextura, enquanto as retas de tendência linear do coeficiente de atrito se mantiveram praticamente constantes. Vale ressaltar que todas as inclinações da macrotextura foram positivas, enquanto duas inclinações de coeficiente de atrito apresentaram valores negativos, a do SBFZ e a do SBSP. Além disso, não foi analisada a macrotextura do Aeroporto de São Paulo/Congonhas, devido ao revestimento ser constituído de *grooving*

Em relação aos terços, pode-se observar dois comportamentos nas PPD dos aeroportos. No Aeroporto Internacional de Fortaleza, foi observado que o 3º terço, onde não é realizado o processo de remoção, apresentou piores valores de macrotextura. Já no SBRJ,

onde a remoção é realizada no 1º e no 3º terço, o 2º apresentou melhor desempenho da macrotextura. Embora os comportamentos sejam diferentes, os dois demonstram a influência do processo de remoção de borracha na macrotextura. No SBFZ, o 3º terço apresenta operações de pouso e decolagem, embora em número muito menor que o 1º terço, mas não tem remoção de acúmulo de borracha, portanto apresentou pior desempenho em relação a profundidade de macrotextura. O SBRJ teve seus dois terços onde são realizadas as operações de pouso e decolagem com valores piores em relação ao 2º terço, onde não é realizado o processo. Portanto, pode-se perceber que as zonas de toque das aeronaves são influenciadas pelo acúmulo de borracha e ainda que, a macrotextura é influenciada pelo processo de remoção de borracha, não apenas de forma imediata, mas ao longo do tempo.

No que tange ao coeficiente de atrito, obteve-se divergências quando analisados os terços das PPD. No SBFZ o 2º terço apresentou melhor desempenho ao se analisar o coeficiente angular e melhor desempenho ao se observar a média. O 1º terço do SBRJ apresentou pior desempenho na análise do coeficiente angular, e o 2º terço ao se analisar as médias. Por fim, o SBSP teve o 2º terço com pior desempenho ao se analisar o coeficiente angular e todos os terços com mesma média de coeficiente de atrito.

Portanto, pode-se concluir que não há relação do coeficiente de atrito com o processo de remoção de borracha acumulada a longo prazo, de maneira que o processo é eficaz em manter os valores de atrito acima dos níveis estabelecidos, no entanto não há aumento dos valores ao longo do tempo. Dessa maneira, percebe-se que a macrotextura é mais influenciada pelo processo de remoção de borracha do que o coeficiente de atrito, isso se deve ao fato de que o coeficiente de atrito envolve outros parâmetros, não apenas a presença de contaminantes. O polimento do agregado, o clima da região e a solicitação da PPD são fatores que influenciam o coeficiente de atrito e não foram analisados neste trabalho.

Em relação à média geral da macrotextura, a PPD que apresentou maiores profundidades foi a do Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont, com média 1,84mm enquanto o Aeroporto de Internacional de Fortaleza apresentou média de 0,93mm. Isso pode ser explicado devido ao tipo de revestimento da PPD. O revestimento da PPD do SBRJ é constituído de CPA, já era esperado que nesse aeroporto a profundidade de macrotextura apresentasse maiores valores, devido a sua condição porosa. Mesmo com dois de seus três terços classificados como emborrachados, a PPD do SBRJ ainda apresentou melhores condições de macrotextura quando comparada a do SBFZ.

A PPD que obteve melhor desempenho na aderência pneu-pavimento, foi a do Aeroporto do Rio de Janeiro/Santos Dumont, com pavimento constituído de Camada Porosa de Atrito (CPA). O SBRJ mostrou maior inclinação da reta de tendência linear tanto na macrotextura, quanto no coeficiente de atrito. Embora, tenham sido analisados um número maior de relatórios de medição de macrotextura e de coeficiente de atrito do SBRJ, esse apresentou um menor número de ocorrências de processo de remoção de borracha realizados com intervalo de tempo maior do que o recomendado pela ANAC. Dessa forma, o gerenciamento do aeródromo também contribuiu para o seu melhor desempenho na aderência pneu-pavimento. Ademais, pode-se concluir que a CPA, devido sua porosidade e sua característica drenante, proporciona melhor resposta ao processo de remoção de borracha acumulada.

A PPD do Aeroporto de São Paulo/Congonhas não mostrou apresentar relação entre a remoção de borracha acumulada e aumento da performance da aderência pneu-pavimento a longo prazo. Isso foi observado pelo fato de a tendência linear apresentar inclinação negativa, o que mostra pequena queda do valor de coeficiente de atrito ao longo do período de análise.

Por fim, ao se analisar a frequência de realização de medições de macrotextura e coeficiente de atrito, bem como a frequência de realização da remoção de borracha acumulada, pode-se concluir que os aeroportos analisados apresentam falha nesse aspecto. Isso se deve a ocorrência de algumas medições e remoções que aconteceram com prazo muito superior ao que é regulamentado. O aeroporto que apresentou pior condição foi o SBFZ, que ainda com o menor número de relatórios analisados, obteve maior frequência de operações com inadequação no prazo.

5.3 Principais limitações

A tabulação dos dados de macrotextura e coeficiente de atrito, necessárias às análises deste trabalho, foram de difícil execução, fator que se deve a algumas deficiências nos relatórios de medições enviados pelos operadores aeroportuários à ANAC. Os relatórios são disponibilizados em arquivos com extensão PDF e a conversão para um formato de planilha não foi possível, de maneira que foi preciso digitar cada valor presente nos relatórios, o que dificultou o processo e o tornou mais demorado. Além disso, como os relatórios

disponibilizados apresentam formato digitalizado, alguns foram de difícil leitura e compreensão, pois estavam com os valores quase que inexistentes (apagados).

5.4 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestões para trabalhos futuros, podem ser citadas:

- a) A realização da análise de fatores locais que impactam a influência do processo de remoção de borracha sobre a aderência pneu-pavimento, como o clima e a quantidade de pousos e decolagens efetuadas no aeródromo;
- b) O estudo da influência do desgaste do pavimento na eficiência do processo de remoção de borracha acumulada;
- c) A análise com um número maior de PPD para cada tipo de revestimento estudado, de maneira a tornar o estudo mais seguro.

REFERÊNCIAS

- AEROPORTO DO RIO DE JANEIRO SANTOS DUMONT. **Histórico**. Disponível em: <<https://www4.infraero.gov.br/aeroportos/aeroporto-do-rio-de-janeiro-santos-dumont/sobre-o-aeroporto/historico/>>. Acesso em: 21 set. 2019.
- AEROPORTO SANTOS DUMONT (Rio de Janeiro). **Tem visão mais bonita que essa numa decolagem?** 2015. Disponível em: <<https://www.facebook.com/SantosDumontSDU/photos/rpp.551492961550577/1042598442440024/?type=3&theater>>. Acesso em: 26 maio 2019
- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC. **Guia para elaboração de Manual de Gerenciamento da Segurança Operacional (MGSO) Aeródromos Classe I e II**. Brasília: ANAC, 2014. 53 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL - ANAC. **Relatório Técnico nº 001/2018/SBFZ**. Brasília: ANAC, 2018. 6 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **RBAC Nº 153 EMENDA Nº 04: AERÓDROMOS - OPERAÇÃO, MANUTENÇÃO E RESPOSTA À EMERGÊNCIA**. Brasília: Anac, 2019. 112 p
- APS, Marcia. **Classificação da Aderência Pneu-Pavimento pelo Índice Combinado IFI – International Friction Index para Revestimentos Asfálticos**. 2006. Tese de Doutorado, Escola Politécnica – USP, São Paulo, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16504 – **Misturas asfálticas – Determinação da profundidade média da macrotextura superficial de pavimentos asfálticos por volumetria – Método da mancha de areia**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASTM E867-97: **Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems**. USA, 2012.
- BBC BRASIL. **Voo JJ 3054: as lições da maior tragédia da aviação brasileira**. 2017. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-40539541>>. Acesso em: 23 set. 2019.
- BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maaria Goretti; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 2010.
- CHEN, Jian-Shiuh; CHEN, Shih-Fan; LIAO, Min-Chih. **Macroscopic and Microscopic Evaluation of Surface Friction of Airport Pavements**. International Journal of Pavement Research & Technology, v. 6, n. 5, 2013.
- CIVIL AVIATION REGULATORY COMMISSION (Jordânia). **Rubber Removal Techniques**. Amã: Civil Aviation Regulatory Commission, 2010. 21 p.

COUCHINHO, Rui Pedro dos Santos. **Medição do Coeficiente de Atrito da Superfície de Pavimentos**: Estudo do equipamento GripTester. 2011. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2011.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **Measurement, construction and maintenance of skid resistant airport pavement surfaces**. Federal Aviation Administration Advisory Circular.150/5320-12c, 1997.

FORTALEZA AIRPORT (Fortaleza). **Sobre o Fortaleza Airport**. Disponível em: <<https://fortaleza-airport.com.br/pt/institucional/sobre>>. Acesso em: 20 set. 2019.

FRAPORT AG. **About Us**. Disponível em: <<https://www.fraport.com/en/our-company/fraport/about-us.html>>. Acesso em: 22 out. 2019.

G1 (Santa Catarina). **Aeroporto de Joinville recebe grooving para melhorar atrito na pista**. 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2016/04/aeroporto-de-joinville-recebe-grooving-para-melhorar-atrito-na-pista.html>>. Acesso em: 25 maio 2019.

GOOGLE EARTH. **Google Earth**. 2019a. Disponível em: <<https://earth.google.com/web/@-3.77697282,-38.53436674,23.97379225a,2591.57768434d,35y,15.71974353h,0t,0r/data=ChMaEQoJL20vMDd3cjZuGAEGASgC>>. Acesso em: 21 set. 2019.

GOOGLE EARTH. **Google Earth**. 2019b. Disponível em: <<https://earth.google.com/web/@-22.9106757,-43.1633982,7.54902958a,1588.79106037d,35y,267.22611206h,0t,0r>>. Acesso em: 21 set. 2019.

GOOGLE EARTH. **Google Earth**. 2019c. Disponível em: <<https://earth.google.com/web/@-23.62534054,-46.65955988,795.92187572a,2878.17333595d,35y,55.68648805h,0t,0r/data=ChMaEQoJL20vMDRyczBnGAEGASgC>>. Acesso em: 21 set. 2019.

GRANSBERG, Douglas D. **Impact of airport rubber removal techniques on runways**. Transportation Research Board, 2008.

HEYSTRASTEN, G. V. e MORAUX, C. **Porous Asphalt in Belgium**. Transportation Research Record, nº 1265 – pp. 34 – 40 – Transportation Research Board – National Research Council, Washington, 1990.

HIERING, W.A. and C.R. Grisel, **Runway Surface Friction Changes Due to High-Pressure Water-Jet Cleaning Operations, Houston Intercontinental Airport, Houston, Texas**, Systems Research and Development Service, National Aviation Facilities Experimental Center, Federal Aviation Administration, 1975, 21 pp.

HORNE, W. B., and Joyner, U. T. **Pneumatic tire hydroplaning and some effects on vehicle performance**. *SAE Tech. Pap. Ser.*, 650145, 1965, 1–28.

HORNE, W.B. and G.D., GRISWOLD, **Evaluation of High-Pressure Water Blast With Rotating Spray Bar for Removing Paint and Rubber Deposits from Airport Runways, and Review of Runway Slipperiness Problems Created by Rubber Contamination**, Report No. TMX 72797, NASA Langley Research Center, National Aeronautics and Space Administration, Washington, D.C., 1975, 66 pp.

HORNE, W.B., T.J. Yager, and G.R. Taylor, “**Recent Research on Ways to Improve Tire Traction on Water, Slush or Ice,**” Proc. AIAA Aircraft Design and Technology Meeting, Los Angeles, Calif., 1965, 45 pp.

HORNE, Walter B.; DREHER, Robert C. **PHENOMENA OF PNEUMATIC TIRE HYDROPLANING**. 1963.

INFRAERO. **CARACTERÍSTICAS**. 2019a. Disponível em: <<https://www4.infraero.gov.br/aeroportos/aeroporto-do-rio-de-janeiro-santos-dumont/sobre-o-aeroporto/caracteristicas/>>. Acesso em: 23 set. 2019.

INFRAERO. **CARACTERÍSTICAS**. 2019b. Disponível em: <<https://www4.infraero.gov.br/aeroportos/aeroporto-de-sao-paulo-congonhas-deputado-freitas-nobre/sobre-o-aeroporto/caracteristicas/>>. Acesso em: 23 set. 2019.

INFRAERO. **HISTÓRICO**. 2019c. Disponível em: <<https://www4.infraero.gov.br/aeroportos/aeroporto-do-rio-de-janeiro-santos-dumont/sobre-o-aeroporto/historico/>>. Acesso em: 23 set. 2019.

INFRAERO. **HISTÓRICO**. 2019d. Disponível em: <<https://www4.infraero.gov.br/aeroportos/aeroporto-de-sao-paulo-congonhas-deputado-freitas-nobre/sobre-o-aeroporto/historico/>>. Acesso em: 23 set. 2019.

INFRAERO. MP - 22.04 (MNT): **MANUAL DE PROCEDIMENTOS**. Brasília: **Superintendência de Planejamento e Gestão (PRPG)**, 2007.

INFRAERO. **RTa/SBRJ-004/2018-PPD-02R/20L R(0)**. Brasília: Infraero, 2018a. 11 p.

INFRAERO. **RTa/SBSP-051/2018-PPD-17R/35L R(0)**. Brasília: Infraero, 2018b. 11 p.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Aerodrome Service Manual, part 2 Pavement Surface Condition**, Doc 9137-AN/898, Montreal, Canada. 2002.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Manual on the regulation of international air transport**. Montreal, Canada, 2004.

ISENRING, T., KÖSTER, H. e SCAZZIGA, I. – **Experiences with Porous Asphalt in Switzerland**. Transportation Research Record, n° 1265 – pp. 41 – 53 – Transportation Research Board – National Research Council, Washington, 1990.

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

LEOCÁDIO, Alexandre da Silva. **Avaliação da pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional de Manaus/Eduardo Gomes**. 2014.

LUGÃO, Wilson Gandini. **Análise da aderência entre pneu e pavimento com Camada Porosa de Atrito no Aeroporto Internacional Tancredo Neves–MG**. 2008. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2008.

MIRANDA JUNIOR, Ervan; SANTANA, Grazielle Miranda Ramos; NEPOMUCENO, Daiana Valt. **PAVIMENTAÇÃO: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O CONCRETO ASFÁLTICO TRADICIONAL (CBUQ) E CONCRETO ASFÁLTICO DRENANTE**. Disponível em: <<https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2018/06/pavimentacao-estudo-comparativo-entre-o-concreto-asfaltico-tradicional-cbuq-e-concreto-asfaltico-drenante.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2019.

MURUGADOSS, Raja. **RUNWAY RUBBER DEPOSITION, TEST AND REMOVAL TECHNIQUES**. 2018.

OLIVEIRA, Francisco Heber Lacerda de. **Proposição de estratégias de manutenção de pavimentos aeroportuários baseadas na macrotextura e no atrito: Estudo de caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza**. 2009. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 178 pág.

ONG, Ghim Ping; FWA, T. F. **Transverse pavement grooving against hydroplaning. I: Simulation model**. Journal of transportation engineering, v. 132, n. 6, p. 441-448, 2006.

PEREIRA, Cláudia Azevedo. **Análise da aderência pneu-pavimento em rodovias do Estado de Pernambuco e da Paraíba com elevado índice de acidentes**. 2010. Tese de doutorado, Departamento de Engenharia Civil – UFPE, Recife, 2010.

RODRIGUES FILHO, Oswaldo Sansone. **Características de Aderência de Revestimentos Asfálticos Aeroportuários – Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de São Paulo Congonhas**. 2006. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica – USP, São Paulo, 2006.

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.

SILVA, João Paulo Souza. **Aderência Pneu-Pavimento em Revestimentos Asfálticos Aeroportuários**. 2008. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SOUSA, Elisa da Silva; OLIVEIRA, Francisco Heber Lacerda de. **Verificação do parâmetro de macrotextura de pavimentos em serviço por meio da análise digital de imagens**. Revista Tecnologia, v. 40, n. 2, 2019.

SPEIDEL, D.J., “**Airfield Rubber Removal,**” *Proc. 2002 Federal Aviation Administration Technology Transfer Conference*, Atlantic City, N.J., 2002, pp. 1–7.

VEJA. **Relatório final do acidente da TAM aponta causas, mas não culpados.** 2009. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/brasil/relatorio-final-do-acidente-da-tam-aponta-causas-mas-nao-culpados/>>. Acesso em: 23 set. 2019.

WATERS, J.C., **UHP Watercutting - Rejuvenating the Microtexture of Polished Surfacing**, Presented at Transit New Zealand International Conference on Surface Friction for Roads and Runways, Christchurch, New Zealand, May 2005, pp. 1–10.

**APÊNDICE A – Datas e intervalos das medições de macrotextura e remoções de
borracha na PPD do SBFZ**

Ano	Última Remoção de Borracha	Dias entre duas remoções	Data da medição	Dias entre duas medições
2014	02/12/2013	-	23/02/2014	-
	10/05/2014	158	20/05/2014	87
			11/08/2014	81
	20/11/2014	190	24/11/2014	103
			21/02/2015	87
2015	04/04/2015	134	12/04/2015	51
	10/06/2015	66	13/06/2015	61
			10/08/2015	57
			10/10/2015	60
	10/11/2015	150	16/12/2015	66
12/03/2016			86	
05/06/2016			83	
2016	30/06/2016	230	04/07/2016	29
			01/10/2016	87
	23/10/2016	113	28/10/2016	27
2017	21/03/2017	148	31/03/2017	152
			25/06/2017	85
			17/09/2017	82
2018	08/11/2017	227	20/02/2018	153
	13/05/2018	185	19/05/2018	89
			15/08/2018	86

**APÊNDICE B – Profundidade macrotextura em todo o comprimento da PPD e
profundidade média da macrotextura do SBFZ**

Ano	Data da medição	Comprimento	1º terço	2º terço	3º terço
2014	23/02/2014	0,74	0,69	0,78	0,77
	20/05/2014	0,85	0,87	0,83	0,83
	11/08/2014	0,75	0,63	0,82	0,81
	24/11/2014	0,92	0,85	1,08	0,70
2015	21/02/2015	0,94	1,01	1,01	0,80
	12/04/2015	0,90	0,91	0,95	0,85
	13/06/2015	0,91	0,96	0,90	0,87
	10/08/2015	0,91	0,97	0,82	0,94
	10/10/2015	0,99	1,04	0,93	1,00
	16/12/2015	0,97	1,01	1,04	0,85
2016	12/03/2016	0,92	0,91	0,91	0,92
	05/06/2016	0,93	0,91	0,96	0,92
	04/07/2016	1,07	1,24	1,10	0,85
	01/10/2016	0,96	1,00	0,98	0,90
	28/10/2016	0,90	1,03	0,90	0,74
2017	31/03/2017	0,91	1,00	0,92	0,84
	25/06/2017	0,87	1,01	0,83	0,77
	17/09/2017	1,00	0,98	1,14	0,87
2018	20/02/2018	0,97	0,94	1,08	0,93
	19/05/2018	1,11	1,07	1,21	1,09
	15/08/2018	1,07	1,15	1,16	0,96

APÊNDICE C – Datas e intervalos das medições de coeficiente de atrito e remoções de borracha na pista do SBFZ

Ano	Última Remoção de Borracha	Dias entre duas remoções	Data da medição	Dias entre duas medições
2014	02/12/2013	-	23/02/2014	-
	10/05/2014	158	18/05/2014	85
			12/08/2014	84
	20/11/2014	190	24/11/2014	102
21/02/2015			87	
2015	04/04/2015	134	24/03/2015	33
			09/04/2015	15
	10/06/2015	66	13/05/2015	34
			12/06/2015	29
			10/07/2015	28
			13/08/2015	33
	10/11/2015	150	10/09/2015	27
			09/10/2015	29
			10/11/2015	31
			09/12/2015	29
2016	30/06/2016	230	11/01/2016	32
			13/04/2016	92
	23/10/2016	113	01/07/2016	78
			01/11/2016	120
2017	21/03/2017	148	02/01/2017	61
			28/03/2017	86
			22/06/2017	84
				09/10/2017
2018	08/11/2017	227	20/02/2018	131
	13/05/2018	185	19/05/2018	89
			15/08/2018	86

APÊNDICE D – Resultados das medições de coeficiente de atrito no SBFZ

Ano	Data da medição	Média	1º terço	2º terço	3º terço	LE	LD
2014	23/02/2014	0,75	0,74	0,76	0,74	0,74	0,76
	18/05/2014	0,81	0,79	0,82	0,81	0,80	0,82
	12/08/2014	0,78	0,72	0,83	0,76	0,78	0,77
	24/11/2014	0,66	0,65	0,67	0,68	0,65	0,67
2015	21/02/2015	0,72	0,74	0,73	0,69	0,68	0,75
	24/03/2015	0,65	0,62	0,65	0,70	0,65	0,65
	09/04/2015	0,76	0,75	0,75	0,79	0,81	0,71
	13/05/2015	0,76	0,76	0,74	0,80	0,71	0,81
	12/06/2015	0,85	0,83	0,89	0,82	0,86	0,84
	10/07/2015	0,77	0,78	0,76	0,79	0,76	0,79
	13/08/2015	0,86	0,85	0,89	0,80	0,87	0,86
	10/09/2015	0,81	0,79	0,84	0,75	0,78	0,84
	09/10/2015	0,80	0,78	0,83	0,76	0,81	0,79
	10/11/2015	0,78	0,82	0,79	0,71	0,80	0,76
	09/12/2015	0,79	0,78	0,81	0,76	0,81	0,76
	2016	11/01/2016	0,74	0,76	0,73	0,72	0,75
13/04/2016		0,77	0,77	0,80	0,73	0,79	0,76
01/07/2016		0,75	0,73	0,79	0,71	0,75	0,74
01/11/2016		0,74	0,73	0,80	0,67	0,73	0,75
2017	02/01/2017	0,74	0,70	0,80	0,72	0,74	0,75
	28/03/2017	0,81	0,79	0,79	0,87	0,79	0,82
	22/06/2017	0,78	0,75	0,83	0,69	0,79	0,76
	09/10/2017	0,86	0,86	0,89	0,81	0,87	0,85
2018	20/02/2018	0,72	0,71	0,74	0,74	0,72	0,73
	19/05/2018	0,68	0,67	0,71	0,64	0,69	0,68
	15/08/2018	0,67	0,67	0,70	0,62	0,70	0,64

APÊNDICE E – Datas e intervalos das medições de macrotextura e remoções de borracha na pista 02R/20L do Aeroporto do Rio de Janeiro Santos Dumont

Ano	Última Remoção de Borracha	Dias entre duas remoções	Data da medição	Dias entre duas medições
2015	04/07/2015	-	21/08/2015	-
			16/10/2015	55
	11/12/2015	157	11/12/2015	55
2016	27/01/2016	46	05/02/2016	54
			22/03/2016	47
	27/04/2016	90	21/05/2016	59
	16/07/2016	79	20/07/2016	59
			14/09/2016	54
			09/11/2016	55
2017	12/11/2016	116	07/01/2017	58
	18/01/2017	66	11/05/2017	124
	06/07/2017	168	06/07/2017	55
	23/08/2017	47	24/08/2017	48
	18/10/2017	55	19/10/2017	55
			23/12/2017	64
2018	01/03/2018	133	02/03/2018	69
	20/04/2018	49	09/06/2018	97
			23/08/2018	74
			23/11/2018	90
	13/12/2018	233	13/12/2018	20

**APÊNDICE F – Profundidade macrotextura em todo o comprimento da PPD e
profundidade média da macrotextura na pista 02R/20L do Aeroporto do Rio de Janeiro
Santos Dumont**

Ano	Data da medição	Média	1º terço	2º terço	3º terço
2015	21/08/2015	1,66	1,28	2,17	1,48
	16/10/2015	1,71	1,14	2,57	1,35
	11/12/2015	1,49	1,15	1,85	1,48
2016	05/02/2016	1,64	1,40	2,16	1,26
	22/03/2016	1,78	1,36	2,46	1,46
	21/05/2016	1,82	1,44	2,47	1,47
	20/07/2016	1,95	1,35	2,86	1,56
	14/09/2016	1,88	1,38	2,78	1,39
	09/11/2016	1,93	1,51	2,68	1,53
2017	07/01/2017	1,70	1,19	2,48	1,36
	11/05/2017	1,84	1,23	2,71	1,50
	06/07/2017	1,68	1,41	2,22	1,35
	24/08/2017	1,89	1,36	2,74	1,48
	19/10/2017	2,05	1,46	3,07	1,49
	23/12/2017	1,79	1,49	2,37	1,43
2018	02/03/2018	2,24	1,82	3,06	1,76
	09/06/2018	2,00	1,43	2,80	1,72
	23/08/2018	1,82	1,33	2,68	1,34
	23/11/2018	1,84	1,39	2,67	1,36
	13/12/2018	2,16	1,67	3,24	1,44

**APÊNDICE G – Dados e intervalos de medições de coeficiente de atrito e remoções de
borracha na PPD do Aeroporto do Rio de Janeiro/ Santos Dumont**

Ano	Última Remoção de Borracha	Dias entre duas remoções	Data da medição	Dias entre duas medições
2015	04/07/2015	-	08/07/2015	-
			31/07/2015	22
			28/08/2015	28
			25/09/2015	27
			12/11/2015	47
	11/12/2015	157	11/12/2015	29
17/12/2015	6	18/12/2015	7	
2016	27/01/2016	40	30/01/2016	42
			26/02/2016	26
			11/03/2016	15
	25/03/2016	58	25/03/2016	14
			22/04/2016	27
	27/04/2016	32	27/04/2016	5
			27/05/2016	30
			24/06/2016	27
			06/07/2016	12
	16/07/2016	77	16/07/2016	10
			15/08/2016	29
			14/09/2016	29
14/10/2016			30	
11/11/2016	115	11/11/2016	27	
		09/12/2016	28	
		07/01/2017	28	
17/01/2017	65	18/01/2017	11	
		16/02/2017	28	
		17/03/2017	31	
		15/04/2017	28	
		16/05/2017	31	
		14/06/2017	28	
06/07/2017	168	07/07/2017	23	
		04/08/2017	27	
23/08/2017	47	24/08/2017	20	
		22/09/2017	28	
18/10/2017	55	20/10/2017	28	
		24/11/2017	34	
		25/01/2018	61	
15/02/2018	117	17/02/2018	22	
01/03/2018	16	02/03/2018	15	
		06/04/2018	34	
20/04/2018	48	20/04/2018	14	
		24/05/2018	34	
		21/06/2018	27	
		19/07/2018	28	
		24/08/2018	35	
25/09/2018	155	27/09/2018	33	
		24/11/2018	57	
13/12/2018	78	13/12/2018	19	

APÊNDICE H – Resultados das medições do coeficiente de atrito na PPD do SBRJ

Ano	Data da medição	Média	1º terço	2º terço	3º terço	LE	LD
2015	08/07/2015	0,72	0,73	0,67	0,74	0,72	0,71
	31/07/2015	0,74	0,74	0,71	0,77	0,76	0,72
	28/08/2015	0,70	0,72	0,65	0,72	0,71	0,69
	25/09/2015	0,76	0,77	0,75	0,77	0,77	0,76
	12/11/2015	0,71	0,72	0,67	0,73	0,72	0,69
	11/12/2015	0,68	0,68	0,63	0,72	0,70	0,66
	18/12/2015	0,73	0,76	0,70	0,71	0,74	0,71
2016	30/01/2016	0,73	0,74	0,69	0,77	0,73	0,74
	26/02/2016	0,68	0,69	0,64	0,70	0,69	0,67
	11/03/2016	0,71	0,72	0,69	0,72	0,74	0,68
	25/03/2016	0,66	0,66	0,63	0,69	0,67	0,64
	22/04/2016	0,68	0,66	0,70	0,69	0,71	0,65
	27/04/2016	0,65	0,69	0,64	0,63	0,67	0,64
	27/05/2016	0,67	0,65	0,66	0,70	0,66	0,67
	24/06/2016	0,66	0,64	0,64	0,70	0,65	0,66
	06/07/2016	0,66	0,62	0,66	0,71	0,66	0,65
	16/07/2016	0,67	0,67	0,65	0,70	0,69	0,66
	15/08/2016	0,70	0,68	0,71	0,73	0,69	0,72
	14/09/2016	0,68	0,65	0,67	0,74	0,69	0,67
	14/10/2016	0,68	0,68	0,65	0,70	0,69	0,67
	11/11/2016	0,65	0,64	0,65	0,66	0,66	0,63
	09/12/2016	0,67	0,66	0,63	0,70	0,66	0,67
2017	07/01/2017	0,61	0,63	0,59	0,60	0,64	0,57
	18/01/2017	0,69	0,66	0,71	0,71	0,72	0,67
	16/02/2017	0,69	0,70	0,68	0,68	0,70	0,68
	17/03/2017	0,69	0,70	0,66	0,70	0,68	0,69
	15/04/2017	0,65	0,65	0,62	0,67	0,64	0,65
	16/05/2017	0,73	0,71	0,74	0,76	0,76	0,70
	14/06/2017	0,68	0,68	0,65	0,72	0,69	0,68
	07/07/2017	0,72	0,71	0,70	0,75	0,74	0,70
	04/08/2017	0,70	0,67	0,71	0,74	0,68	0,72
	24/08/2017	0,73	0,75	0,70	0,75	0,74	0,73
	22/09/2017	0,72	0,71	0,72	0,72	0,74	0,70
	20/10/2017	0,76	0,75	0,75	0,79	0,78	0,75
	24/11/2017	0,69	0,70	0,66	0,71	0,72	0,66
2018	25/01/2018	0,64	0,65	0,62	0,66	0,67	0,62
	17/02/2018	0,74	0,68	0,74	0,82	0,72	0,75
	02/03/2018	0,78	0,75	0,79	0,83	0,79	0,78
	06/04/2018	0,72	0,73	0,71	0,73	0,70	0,74
	20/04/2018	0,77	0,75	0,76	0,82	0,78	0,77
	24/05/2018	0,71	0,66	0,72	0,75	0,69	0,73
	21/06/2018	0,70	0,69	0,67	0,74	0,69	0,70
	19/07/2018	0,73	0,72	0,71	0,71	0,72	0,75
	24/08/2018	0,70	0,68	0,72	0,71	0,70	0,70
	27/09/2018	0,71	0,71	0,71	0,71	0,69	0,73
	24/11/2018	0,68	0,66	0,63	0,76	0,67	0,68
13/12/2018	0,67	0,68	0,67	0,66	0,68	0,67	

APÊNDICE I – Datas e intervalos de medições de coeficiente de atrito e remoções de borracha acumulada na PPD do Aeroporto de São Paulo/Congonhas

Ano	Última Remoção de Borracha	Dias entre duas remoções	Data da medição	Dias entre duas medições	
2015	14/05/2015	-	03/07/2015	-	
			10/07/2015	7	
			17/07/2015	7	
			24/07/2015	7	
			31/07/2015	6	
			07/08/2015	7	
	13/08/2015	89	14/08/2015	7	
			21/08/2015	7	
			28/08/2015	7	
			04/09/2015	6	
			11/09/2015	7	
			18/09/2015	7	
			25/09/2015	7	
			02/10/2015	7	
			09/10/2015	7	
			16/10/2015	7	
			23/10/2015	7	
	26/10/2015	73	30/10/2015	7	
			06/11/2015	6	
			13/11/2015	7	
			20/11/2015	7	
			27/11/2015	7	
			04/12/2015	7	
			11/12/2015	7	
			24/12/2015	13	
			31/12/2015	6	
			08/01/2016	8	
03/02/2016	97	15/01/2016	7		
		29/01/2016	14		
		05/02/2016	6		
		12/02/2016	7		
		19/02/2016	7		
		26/02/2016	7		
		04/03/2016	8		
		03/02/2016	97	11/03/2016	7
				18/03/2016	7
				30/03/2016	12
01/04/2016	1				
15/04/2016	14				
28/04/2016	85	29/04/2016	14		
		06/05/2016	7		
		13/05/2016	7		
		20/05/2016	7		
		25/05/2016	5		
		03/06/2016	8		
		10/06/2016	7		
		17/06/2016	7		
		25/06/2016	8		
		01/07/2016	6		

Ano	Última Remoção de Borracha	Dias entre duas remoções	Data da medição	Dias entre duas medições
2016	07/07/2016	69	08/07/2016	7
			15/07/2016	7
			22/07/2016	7
			29/07/2016	7
			05/08/2016	6
			12/08/2016	7
			19/08/2016	7
			26/08/2016	7
			02/09/2016	6
			09/09/2016	7
			16/09/2016	7
			30/09/2016	14
			07/10/2016	7
	08/10/2016	89	14/10/2016	7
			21/10/2016	7
			28/10/2016	7
			04/11/2016	6
			11/11/2016	7
			18/11/2016	7
			25/11/2016	7
			02/12/2016	7
08/10/2016	89	09/12/2016	7	
		16/12/2016	7	
		23/12/2016	7	
		30/12/2016	7	
2017	06/01/2017	88	02/01/2017	2
			13/01/2017	11
			20/01/2017	7
			27/01/2017	7
			03/02/2017	6
			10/02/2017	7
			17/02/2017	7
			24/02/2017	7
			03/03/2017	9
			10/03/2017	7
	17/03/2017	7		
	31/03/2017	84	24/03/2017	7
			31/03/2017	6
			07/04/2017	7
			14/04/2017	7
21/04/2017			7	
28/04/2017			7	
05/05/2017			7	
31/03/2017	84	12/05/2017	7	
		19/05/2017	7	
		26/05/2017	7	
		02/06/2017	6	
		09/06/2017	7	
		16/06/2017	7	
29/06/2017	89	23/06/2017	7	
		30/06/2017	7	
		07/07/2017	7	

Ano	Última Remoção de Borracha	Dias entre duas remoções	Data da medição	Dias entre duas medições	
			14/07/2017	7	
			21/07/2017	7	
			04/08/2017	13	
			11/08/2017	7	
			18/08/2017	7	
			25/08/2017	7	
			01/09/2017	6	
	29/06/2017	89	08/09/2017	7	
			15/09/2017	7	
			22/09/2017	7	
			29/09/2017	7	
	05/10/2017	96	06/10/2017	7	
			13/10/2017	7	
			21/10/2017	8	
			30/10/2017	9	
			03/11/2017	3	
			10/11/2017	7	
	16/11/2017	41	17/11/2017	7	
			24/11/2017	7	
			01/12/2017	7	
			08/12/2017	7	
			15/12/2017	7	
			22/12/2017	7	
			29/12/2017	7	
	2018	04/01/2018	46	05/01/2018	6
				15/01/2018	10
				19/01/2018	4
				26/01/2018	7
02/02/2018				6	
09/02/2018				7	
16/02/2018				7	
23/02/2018				7	
02/03/2018				9	
09/03/2018				7	
16/03/2018				7	
23/03/2018				7	
30/03/2018		7			
06/04/2018		92	06/04/2018	6	
			13/04/2018	7	
			20/04/2018	7	

**APÊNDICE J – Resultados da medição do coeficiente de atrito a 3m do eixo da PPD do
Aeroporto de São Paulo/Congonhas**

Ano	Data da medição	Média	1º terço	2º terço	3º terço	LE	LD	
2015	03/07/2015	0,66	0,69	0,65	0,64	0,65	0,67	
	10/07/2015	0,68	0,68	0,69	0,69	0,67	0,70	
	17/07/2015	0,69	0,71	0,67	0,69	0,67	0,71	
	24/07/2015	0,67	0,68	0,67	0,67	0,66	0,68	
	31/07/2015	0,69	0,71	0,69	0,69	0,68	0,71	
	07/08/2015	0,69	0,70	0,69	0,69	0,68	0,71	
	14/08/2015	0,68	0,70	0,68	0,67	0,67	0,70	
	21/08/2015	0,65	0,62	0,67	0,65	0,69	0,61	
	28/08/2015	0,64	0,64	0,65	0,63	0,63	0,65	
	04/09/2015	0,65	0,66	0,64	0,65	0,65	0,66	
	11/09/2015	0,66	0,68	0,65	0,65	0,64	0,68	
	18/09/2015	0,70	0,71	0,69	0,70	0,68	0,72	
	25/09/2015	0,69	0,71	0,69	0,69	0,68	0,71	
	02/10/2015	0,66	0,68	0,64	0,66	0,64	0,67	
	09/10/2015	0,68	0,69	0,67	0,67	0,66	0,69	
	16/10/2015	0,67	0,68	0,67	0,67	0,65	0,69	
	23/10/2015	0,61	0,64	0,62	0,59	0,61	0,62	
	30/10/2015	0,62	0,62	0,60	0,65	0,62	0,63	
	06/11/2015	0,64	0,66	0,61	0,66	0,63	0,65	
	13/11/2015	0,65	0,67	0,64	0,65	0,65	0,66	
	20/11/2015	0,64	0,64	0,63	0,65	0,64	0,64	
	27/11/2015	0,65	0,67	0,63	0,66	0,64	0,66	
	04/12/2015	0,64	0,67	0,62	0,62	0,63	0,64	
	11/12/2015	0,63	0,62	0,64	0,64	0,64	0,62	
	24/12/2015	0,67	0,66	0,67	0,68	0,69	0,65	
	31/12/2015	0,66	0,64	0,67	0,66	0,67	0,64	
	2016	08/01/2016	0,72	0,72	0,71	0,71	0,72	0,71
		15/01/2016	0,64	0,63	0,64	0,64	0,66	0,62
		29/01/2016	0,70	0,71	0,71	0,67	0,71	0,69
		05/02/2016	0,71	0,72	0,71	0,70	0,72	0,70
		12/02/2016	0,67	0,67	0,68	0,67	0,69	0,66
19/02/2016		0,68	0,66	0,67	0,71	0,69	0,67	
26/02/2016		0,65	0,61	0,67	0,69	0,67	0,64	
04/03/2016		0,65	0,65	0,67	0,62	0,66	0,63	
11/03/2016		0,63	0,62	0,65	0,61	0,64	0,61	
18/03/2016		0,72	0,74	0,72	0,70	0,73	0,71	
30/03/2016		0,70	0,70	0,69	0,70	0,71	0,68	
01/04/2016		0,69	0,70	0,69	0,68	0,70	0,68	
15/04/2016		0,71	0,70	0,72	0,71	0,73	0,69	
29/04/2016		0,71	0,70	0,72	0,71	0,73	0,69	
06/05/2016		0,72	0,70	0,72	0,73	0,73	0,71	
13/05/2016		0,69	0,68	0,70	0,68	0,70	0,67	
20/05/2016		0,68	0,70	0,69	0,66	0,70	0,67	
25/05/2016		0,71	0,73	0,73	0,69	0,73	0,70	
03/06/2016		0,67	0,65	0,67	0,69	0,68	0,66	
10/06/2016		0,75	0,76	0,76	0,72	0,76	0,73	
17/06/2016		0,76	0,74	0,75	0,78	0,77	0,75	
2016	25/06/2016	0,62	0,61	0,62	0,62	0,61	0,62	
	01/07/2016	0,66	0,66	0,66	0,67	0,67	0,65	
	08/07/2016	0,65	0,64	0,66	0,64	0,66	0,64	
	15/07/2016	0,66	0,63	0,65	0,68	0,66	0,65	

Ano	Data da medição	Média	1º terço	2º terço	3º terço	LE	LD
2016	22/07/2016	0,65	0,65	0,64	0,66	0,66	0,64
	29/07/2016	0,63	0,61	0,63	0,65	0,65	0,61
	05/08/2016	0,63	0,63	0,64	0,64	0,65	0,62
	12/08/2016	0,61	0,59	0,62	0,62	0,62	0,60
	19/08/2016	0,61	0,58	0,60	0,65	0,61	0,61
	26/08/2016	0,66	0,67	0,66	0,65	0,66	0,65
	02/09/2016	0,65	0,65	0,65	0,67	0,66	0,65
	09/09/2016	0,64	0,64	0,63	0,64	0,64	0,63
	16/09/2016	0,64	0,63	0,63	0,65	0,66	0,61
	30/09/2016	0,61	0,61	0,63	0,58	0,61	0,62
	07/10/2016	0,61	0,61	0,61	0,61	0,62	0,59
	14/10/2016	0,60	0,59	0,59	0,62	0,61	0,59
	21/10/2016	0,60	0,63	0,59	0,58	0,60	0,60
	28/10/2016	0,59	0,59	0,58	0,60	0,60	0,58
	04/11/2016	0,57	0,57	0,57	0,56	0,58	0,55
	11/11/2016	0,61	0,60	0,58	0,64	0,61	0,60
	18/11/2016	0,63	0,64	0,61	0,64	0,64	0,62
	25/11/2016	0,61	0,62	0,62	0,60	0,63	0,59
	02/12/2016	0,61	0,64	0,61	0,58	0,62	0,60
	09/12/2016	0,61	0,61	0,59	0,62	0,61	0,60
16/12/2016	0,60	0,60	0,59	0,60	0,61	0,58	
23/12/2016	0,63	0,64	0,62	0,64	0,64	0,62	
30/12/2016	0,60	0,60	0,59	0,60	0,60	0,59	
2017	02/01/2017	0,62	0,59	0,62	0,65	0,63	0,62
	13/01/2017	0,61	0,63	0,59	0,61	0,62	0,59
	20/01/2017	0,58	0,59	0,57	0,58	0,59	0,56
	27/01/2017	0,61	0,61	0,60	0,63	0,62	0,60
	03/02/2017	0,61	0,61	0,60	0,62	0,62	0,60
	10/02/2017	0,68	0,70	0,66	0,69	0,69	0,68
	17/02/2017	0,67	0,68	0,67	0,68	0,68	0,67
	24/02/2017	0,65	0,66	0,64	0,65	0,66	0,63
	03/03/2017	0,64	0,63	0,62	0,65	0,64	0,63
	10/03/2017	0,68	0,69	0,66	0,68	0,68	0,67
	17/03/2017	0,68	0,69	0,66	0,68	0,68	0,67
	24/03/2017	0,66	0,68	0,65	0,65	0,67	0,65
	31/03/2017	0,64	0,67	0,65	0,62	0,65	0,63
	07/04/2017	0,61	0,63	0,62	0,60	0,63	0,60
	14/04/2017	0,65	0,67	0,64	0,64	0,66	0,63
	21/04/2017	0,67	0,68	0,66	0,67	0,69	0,65
	28/04/2017	0,61	0,62	0,61	0,62	0,63	0,60
	05/05/2017	0,64	0,64	0,64	0,65	0,65	0,64
	12/05/2017	0,65	0,66	0,65	0,64	0,67	0,64
	19/05/2017	0,60	0,58	0,62	0,59	0,61	0,59
26/05/2017	0,70	0,71	0,68	0,69	0,71	0,68	
02/06/2017	0,65	0,63	0,65	0,68	0,67	0,63	
09/06/2017	0,66	0,64	0,65	0,69	0,66	0,66	
2017	16/06/2017	0,67	0,70	0,67	0,64	0,68	0,65
	23/06/2017	0,67	0,69	0,66	0,66	0,69	0,65
	30/06/2017	0,71	0,71	0,70	0,72	0,72	0,70
	07/07/2017	0,66	0,67	0,67	0,63	0,65	0,67
	14/07/2017	0,68	0,67	0,67	0,69	0,69	0,66
	21/07/2017	0,62	0,63	0,61	0,62	0,63	0,61
	04/08/2017	0,59	0,58	0,59	0,60	0,60	0,58
	11/08/2017	0,60	0,59	0,60	0,61	0,61	0,58
18/08/2017	0,59	0,58	0,60	0,59	0,60	0,58	

Ano	Data da medição	Média	1º terço	2º terço	3º terço	LE	LD
2017	25/08/2017	0,63	0,64	0,62	0,61	0,63	0,62
	01/09/2017	0,59	0,59	0,58	0,61	0,61	0,57
	08/09/2017	0,63	0,62	0,63	0,64	0,65	0,62
	15/09/2017	0,65	0,63	0,64	0,67	0,66	0,64
	22/09/2017	0,60	0,60	0,61	0,60	0,62	0,59
	29/09/2017	0,56	0,53	0,58	0,57	0,56	0,56
2018	06/10/2017	0,62	0,63	0,61	0,63	0,64	0,61
	13/10/2017	0,60	0,59	0,59	0,62	0,62	0,58
	21/10/2017	0,65	0,65	0,68	0,63	0,65	0,65
	30/10/2017	0,63	0,63	0,64	0,63	0,62	0,64
	03/11/2017	0,69	0,71	0,70	0,65	0,68	0,70
	10/11/2017	0,64	0,66	0,66	0,59	0,64	0,64
	17/11/2017	0,65	0,64	0,64	0,66	0,65	0,65
	24/11/2017	0,67	0,69	0,66	0,66	0,67	0,67
	01/12/2017	0,68	0,69	0,67	0,68	0,67	0,69
	08/12/2017	0,65	0,66	0,65	0,64	0,65	0,65
	15/12/2017	0,71	0,72	0,69	0,71	0,70	0,71
	22/12/2017	0,63	0,63	0,63	0,63	0,64	0,62
	29/12/2017	0,65	0,66	0,65	0,64	0,65	0,65
	05/01/2018	0,71	0,73	0,70	0,72	0,71	0,71
	15/01/2018	0,68	0,65	0,67	0,71	0,67	0,68
	19/01/2018	0,68	0,66	0,66	0,70	0,66	0,69
	26/01/2018	0,69	0,70	0,67	0,70	0,68	0,69
	02/02/2018	0,68	0,70	0,67	0,67	0,68	0,68
	09/02/2018	0,68	0,71	0,67	0,67	0,67	0,69
	16/02/2018	0,64	0,65	0,64	0,63	0,64	0,63
	23/02/2018	0,66	0,66	0,64	0,68	0,66	0,65
	02/03/2018	0,67	0,67	0,65	0,68	0,66	0,67
	09/03/2018	0,65	0,66	0,64	0,64	0,64	0,65
	16/03/2018	0,66	0,63	0,63	0,71	0,68	0,64
	23/03/2018	0,63	0,65	0,62	0,62	0,65	0,61
	30/03/2018	0,64	0,65	0,64	0,62	0,64	0,64
	06/04/2018	0,69	0,72	0,66	0,69	0,69	0,68
	13/04/2018	0,70	0,71	0,68	0,72	0,71	0,69
	20/04/2018	0,73	0,72	0,71	0,75	0,74	0,71