



**CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS – UNICHRISTUS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

FIRMINO EUGÊNIO CAMPOS LIMA

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS PARÂMETROS AVALIATIVOS DE PAVIMENTOS
AEROPORTUÁRIOS COM VISTAS À PRÁTICA INTERNACIONAL**

**FORTALEZA
2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Centro Universitário Christus - Unichristus

Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica
do Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

L732a Lima, Firmino Eugênio Campos.
ANÁLISE COMPARATIVA DOS PARÂMETROS
AVALIATIVOS DE PAVIMENTOS
AEROPORTUÁRIOS COM
VISTAS À PRÁTICA INTERNACIONAL / Firmino Eugênio
Campos Lima. - 2021.
70 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Centro Universitário Christus - Unichristus, Curso de
Engenharia Civil, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Me. Lucas Cavalcante de Almeida.

1. Avaliação de Pavimento. 2. Aeródromo. 3. Condição
Funcional. 4. Condição Estrutural. 5. Equipamentos de

CDD 624

FIRMINO EUGÊNIO CAMPOS LIMA

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS PARÂMETROS AVALIATIVOS DE PAVIMENTOS
AEROPORTUÁRIOS COM VISTAS À PRÁTICA INTERNACIONAL**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Christus como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. Lucas Cavalcante de Almeida

FORTALEZA
2021

FIRMINO EUGÊNIO CAMPOS LIMA

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS PARÂMETROS AVALIATIVOS DE PAVIMENTOS
AEROPORTUÁRIOS COM VISTAS À PRÁTICA INTERNACIONAL**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao curso de Engenharia Civil do
Centro Universitário Christus como requisito
parcial para a obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Lucas Cavalcante de
Almeida.

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Lucas Cavalcante de Almeida
Centro Universitário Christus

Prof. Me. Leila Maria Coelho de Carvalho
Centro Universitário Christus

Prof. Me. Fernando Dácio de Almeida
Centro Universitário Christus

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter sido meu guia durante este processo acadêmico com saúde e forças para a realização de um sonho.

Aos meus pais, José Eugênio de Lima e Rosângela Campos Pereira, pelos incentivos que me ajudaram em momentos difíceis durante a graduação demonstrando que sempre acreditaram em mim.

Ao meu irmão, Vinícius Eugênio, em que, naturalmente, com irmão mais velho, senti a necessidade de servir de exemplo. Essa é uma tarefa no qual tenho muito orgulho e que pretendo continuar melhorando sempre.

Ao Manuel Serpa Rodrigues, no qual pude conhecer durante a faculdade esse grande amigo que tenho como irmão. Contribuiu em momentos de estudos e trabalhos, mostrando o quanto é importante o trabalho em equipe.

Aos professores, Leila Maria e Fernando Dácio por toda atenção, desde a qualificação até a defesa da minha pesquisa, contribuindo com as devidas correções no meu trabalho.

Por último, e não menos importante, Lucas Cavalcante, por ter aceito o desafio de orientar minha pesquisa. Mostrou ser um profissional com dedicação e paciência com todas dificuldades que vieram a surgir.

RESUMO

As aeronaves são meios de transporte que contribuem com a movimentação da economia de um país através do turismo e transporte de cargas. É importante que o aeródromo esteja em boas condições de uso pois dessa forma o conforto e segurança para os que o utilizam são garantidos. Caracterizar o pavimento aeroportuário é importante pois, quando comparado ao rodoviário, possui atributos distintos que devem ser levados em consideração como a frequência que as cargas se repetem, o impacto que o veículo exerce sobre o pavimento, a ação de frenagem que os pneus exercem entre outros. Para que se tenha conforto e segurança, são estabelecidas condições mínimas através de parâmetros avaliativos que refletem as condições de uso do pavimento. Este trabalho tem como objetivo expor os parâmetros funcionais e estruturais utilizados em países como no Brasil, França, Portugal, Estados Unidos e Canadá. Por meio de pesquisa bibliográfica, em normas, trabalhos acadêmicos, artigos e outras fontes foi possível obter índices funcionais como atrito, macrotextura, irregularidade longitudinal e PCI. Assim como também, parâmetro para avaliação estrutural, o HWD. Como resultado, foi apresentada uma tabela expositiva na qual foi observado os índices e equipamentos/ensaios que cada país adota como parâmetro avaliativo funcional e estrutura, para seus respectivos aeródromos. Por fim, é importante tratar do assunto pois, entender sobre os parâmetros contribui para que seja tomada as devidas ações, seja ela preventiva ou corretiva. Através de uma revisão bibliográfica, os parâmetros foram expostos juntamente com os equipamentos utilizados.

Palavras-chaves: Avaliação de Pavimento. Aeródromo. Condição Funcional. Condição Estrutural. Equipamentos de medição.

ABSTRACT

Aircraft are means of transport that contribute to the movement of a country's economy through tourism and cargo transportation. It is important that the aerodrome is in good condition for use as this way the comfort and safety for those who use it are guaranteed. Characterizing the airport pavement is important because, when compared to the road, it has distinct attributes that must be taken into account such as the frequency that the loads are repeated, the impact that the vehicle has on the pavement, the braking action that the tires exert between others. In order to have comfort and safety, minimum conditions are established through evaluation parameters that reflect the conditions of use of the pavement. This work aims to expose the functional and structural parameters used in countries like Brazil, France, Portugal, United States and Canada. Through bibliographic research, in standards, academic papers, articles and other sources, it was possible to obtain functional indices such as friction, macrotexture, longitudinal irregularity and PCI. As well as a parameter for structural evaluation, the HWD. As a result, an expository table was presented in which it was observed the indexes and equipment / tests that each country adopts as an evaluation parameter works and structure, for their respective aerodromes. Finally, it is important to address the issue because understanding about the parameters contributes to taking appropriate actions, whether preventive or corrective. Through a bibliographic review, the parameters were exposed together with the equipment used.

Key-words: Pavement Assessment. Aerodrome. Functional condition. Structural condition. Measuring equipment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Crescimento da movimentação de passageiros no Brasil.....	21
Figura 2 – Grooving.....	32
Figura 3 - Interação pneu-fluido-pavimento.....	33
Figura 4 - Representação da irregularidade longitudinal.....	34
Figura 5 - Fluxo de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários .	39
Figura 6 - Fluxograma das etapas do trabalho.....	42
Figura 7 - Medição de atrito com Mu-meter Trailer	44
Figura 8 - Grip Tester: equipamento de medição de atrito	45
Figura 9 - Equipamento de medição do atrito na França	46
Figura 10 - ASFT	47
Figura 11 - Perfilômetro a laser utilizado no monitoramento	49
Figura 12 - Analisador de perfil longitudinal	54
Figura 13 - Ensaio de Mancha de Graxa.....	57
Figura 14 - Deflexões com HWD.....	60
Figura 15 - Equipamento HWD	61
Figura 16 - Interface do software FAARFIELD	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Diferenças entre rodovias e aeródromos	30
Quadro 2 - Defeitos nos pavimentos aeroportuários flexíveis	37
Quadro 3 - Resumo dos índices de avaliação funcional e estrutural.....	64

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparativo anual entre voos os domésticos e internacionais	20
Gráfico 2 - Movimentação geral da aviação regular	22
Gráfico 3 - Movimentação de aviação regular de Jericoacoara.....	23
Gráfico 4 - Movimentação de aviação regular de Aracati.....	23
Gráfico 5 - Distribuição mensal do tráfego aéreo francês	24
Gráfico 6 - Movimentação dos principais aeroportos de Portugal	25
Gráfico 7 - Descolagens em tráfego regular doméstico e internacional (2010/2018)	26
Gráfico 8 - Evolução dos voos nos Estados Unidos.....	27
Gráfico 9 - Evolução mensal dos voos nos Estados Unidos	28
Gráfico 10 - Fluxo de passageiros embarcados e desembarcados.....	29
Gráfico 11 - Boletim de avaliação PSR	51
Gráfico 12 - Escala IRI / Portugal	51
Gráfico 13 - Esquema de medição da altura de Bump.....	52
Gráfico 14 - Critério de aceitação do Boeing Bump Index.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aeroportos com mais voos em território francês	25
Tabela 2 - Passageiros em voos domésticos e internacionais nos Estados Unidos .	27
Tabela 3 - Classificação da macrotextura	32
Tabela 4 - Parâmetros de coeficiente de atrito por tipo de equipamento de medição	33
Tabela 5 - Patamares de atrito dos diferentes equipamentos	47
Tabela 6 - Níveis de irregularidade	50
Tabela 7 - Diretrizes históricas de rugosidade da pista com base no RCI	55
Tabela 8 - Valores da profundidade média da textura - PMT	58
Tabela 9 - Parâmetros de macrotextura no Canadá	58
Tabela 10 - Sistema de classificação do PCI	59
Tabela 11 - Valores de módulo permitidos para o FAARFIELD	63

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

AASHO	<i>American Association of State Highway Officials</i>
ACN	<i>Aircraft Classification Number</i>
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANAC	Autoridade Nacional da Aviação Civil
APL	Analizador de Perfil Longitudinal
ARC	<i>Aerodrome Reference Code</i>
ASTF	<i>Airport Surface Friction Tester</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BBI	<i>Boeing Bump Index</i>
BTS	<i>Bureau of Transportation Statistics</i>
CAC	<i>Canadian Airports Council</i>
CDG	<i>Charles De Gaulle</i>
CENIPA	Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
CRNA	<i>Centre en Route de la Navigation Aérienne</i>
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DSNA	<i>Direction des Services de la Navigation Aérienne</i>
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FAARFIELD	<i>Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design</i>
FOD	<i>Foreign Object Debris</i>
FWD	<i>Falling Weight Deflectometer</i>
HWD	<i>Heavy Weight Deflectometer</i>
ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i>
IMAG	<i>Instrument de Mesure Automatique de la Glissance</i>
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
IRI	<i>International Roughness Index</i>
LCPC	<i>Laboratoire Central des Ponts et Chaussées</i>
MDT	<i>Mean Texture Depth</i>
PCI	<i>Pavement Conditions Index</i>
PCN	<i>Pavement Classification Number</i>

PIB	Produto Interno Bruto
PSR	<i>Present Serviceability Rating</i>
PTM	Profundidade de Textura Média
RBAC	Regulamento Brasileiro da Aviação Civil
RCI	<i>Riding Comfort Index</i>
SGPA	Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários
SOP	Superintendência de Obras Públicas
STAC	<i>Service Technique de l'Aviation Civile</i>
TAP	Transportes Aéreos Portugueses

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos	18
1.1.1 <i>Objetivo geral</i>	18
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	18
1.2 Estrutura do trabalho	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1 Dados dos aeroportos	20
2.1.1 <i>Dados dos aeroportos do Brasil</i>	20
2.1.2 <i>Dados dos aeroportos do Estado do Ceará</i>	21
2.1.3 <i>Dados dos aeroportos da França</i>	23
2.1.4 <i>Dados dos aeroportos de Portugal</i>	25
2.1.5 <i>Dados dos aeroportos dos Estados Unidos</i>	26
2.1.6 <i>Dados dos aeroportos do Canadá</i>	28
2.2 Pavimentos aeroportuários	29
2.3 Condição funcional dos pavimentos aeroportuários	31
2.3.1 <i>Textura</i>	31
2.3.2 <i>Atrito</i>	32
2.3.3 <i>Irregularidade longitudinal</i>	34
2.4 Condição estrutural dos pavimentos aeroportuários	35
2.5 Defeitos comuns em pavimentos aeroportuários	36
2.6 Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários (SGPA)	37
3 METODOLOGIA	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1 Avaliação Funcional	44
4.1.1 <i>Atrito</i>	44

4.1.2 Irregularidade Longitudinal	48
4.1.3 Macrotextura	55
4.1.4 Pavement Conditions Index - PCI	59
4.2 Avaliação Estrutural.....	60
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

As aeronaves estão cada vez mais sendo utilizadas devido à demanda turística e comercial. O transporte aéreo torna-se uma boa opção para transporte de passageiros e de cargas, pois é um dos mais rápidos meios de transportes, e, comparado aos demais, é o mais seguro. A infraestrutura aeroportuária faz parte fundamental para regularização da economia de uma país. O turismo e os empregos diretos e indiretos são indicadores significativos que contribuem para o crescimento da economia. Segundo a Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO (2019), em dezembro de 2019 foram registrados 696.083 voos, na qual mais de 99,2% é representado por voos de transporte de passageiros e 0,8% representam transporte de cargas.

Esses deslocamentos geram uma movimentação financeira que favorece significativamente a economia. Vale ressaltar que além de ser um gerador de atividades econômicas, a infraestrutura aeroportuária possui a capacidade de atrair atividades comerciais em seu entorno como hotéis e pousadas, gerando uma movimentação comercial favorável. Desse modo, devido à grande quantidade de voos é preciso ter um maior controle de qualidade nos pavimentos para que seja garantido os requisitos de segurança operacional. A qualidade dos pavimentos aeroportuários é mensurada através de parâmetros que são analisados para determinar se estão adequados para sua utilização.

Sabe-se que, as pistas de pouso e decolagem exercem clara contribuição no desempenho das operações aeroportuárias, uma vez que não se vislumbra qualquer atividade no aeroporto que envolva direta ou indiretamente as aeronaves, sem o seu devido funcionamento. É de extrema importância que as pistas estejam em boas condições de operação, pois caso contrário, pistas comprometidas funcionalmente poderão causar danos nas aeronaves (OLIVEIRA, 2016).

As pistas de pouso e decolagem de um aeródromo devem apresentar, níveis de serventia adequados as operações aeroportuárias a todo momento. Para que seja possível garantir tais níveis de serviços nos aeródromos, o administrador pode utilizar de um Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários – SGPA (HENRIQUE, 2013).

Desse modo, Balbo (2015) afirma que, no Brasil existe um atraso no conhecimento técnico e apresenta defasagem relevante em relação aos países com

poder tecnológico desenvolvido, como exemplo, Estados Unidos, que praticam metodologias empírico-mecanicistas, como os métodos da *Federal Aviation Administration* - FAA (Administração da Aviação Federal). Há necessidade de investimento no setor de pesquisa para o desenvolvimento de novas técnicas e em engenharia consultiva para atualização das normas de projeto e especificações construtivas nacionais. Esse atraso faz com o que no Brasil seja utilizada normas norte-americanas.

Segundo Medeiros (2009), grande parte dos aeroportos brasileiros não seguem a diversas regras construtivas de segurança para pátios, pistas de pouso e decolagem enunciadas no Anexo 14 da *International Civil Aviation Organization* - ICAO (Organização Internacional da Aviação Civil). Medeiros (2009) ainda conclui que a desobediência a essas normas é explicada porque foram desenvolvidos em grande número a partir de aeródromos militares que não foram projetados a partir dessas regras, pois suas finalidades eram diferentes das finalidades de um aeródromo civil. Tal desconformidade pode impactar na qualidade das pistas podendo assim ocorrer acidentes.

No que diz respeito à segurança das operações, o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos - CENIPA (2020), informa que houve redução no número de acidentes aeronáuticos. De acordo com a análise dos dados, foram registrados 153 acidentes aeronáuticos, considerando acidentes em pista e acidentes durante o voo, no ano de 2019, sendo 35 deles com fatalidade. Uma redução de 7,8% no número de acidentes sem fatalidade e redução de 5,4% no número de acidentes com fatalidade, quando comparado os dados do ano de 2018.

Ainda comparando os dois últimos anos da aviação civil, temos uma queda de 22,8% na quantidade de vítimas fatais. Para auxiliar na prevenção da ocorrência desses acidentes, a solução é investir na manutenção da infraestrutura dos aeroportos, especialmente nas pistas de pouso e decolagem, onde foram registrados dois dos três maiores índices de acidentes.

A deterioração dessas infraestruturas ao longo do tempo, ocasionada pelas condições ambientais e climáticas, pela ação do tempo e do tráfego, pela ausência de uma manutenção adequada, ou pela combinação dessas condições, a degradação dos pavimentos aeroportuários é um dos fatores contribuintes para as ocorrências de incidentes ou acidentes envolvendo aeronaves (OLIVEIRA, 2016). A qualidade do

pavimento pode ser avaliada de forma funcional ou estrutural. De maneira funcional, ele é avaliado conforme sua segurança e conforto ao rolamento.

Já de forma estrutural, ele é avaliado quanto a resistência à solicitação da movimentação das aeronaves, que gera fadiga e deformação permanente, assim como cargas e o clima. Baseado na importância que a qualidade do pavimento irá contribuir para uma melhor forma direta ou indiretamente no fluxo de atividades no aeroporto, o estudo dos parâmetros é importante para mensurar a integridade do pavimento aeroportuário (MERIGHI, 2017).

1.1 Objetivos

Esta seção contempla o que será abordado nos objetivos deste trabalho.

1.1.1 Objetivo geral

Realizar um estudo comparativo dos parâmetros utilizados na avaliação funcional e estrutural dos pavimentos aeroportuários do Brasil, França, Portugal, Estados Unidos e Canadá.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Verificar os índices adotados para a avaliação funcional e estrutural nos países em estudo;
- b) Identificar os principais equipamentos medidores na avaliação funcional e estrutural;
- c) Indicar os índices mais significativos, tanto os de avaliação funcional como estrutural;

1.2 Estrutura do trabalho

Além deste capítulo introdutório, este trabalho é composto por mais quatro capítulos, descritos a seguir. O Capítulo 2 contém dados dos aeroportos do Brasil, em destaque o Estado do Ceará, França, Portugal, Estados Unidos e Canadá. Definição de pavimentos aeroportuários, análises das condições funcionais dos aeródromos, tais como Índice de Condição do Pavimento, macrotextura e coeficiente de atrito.

Análise das condições estruturais através de parâmetros como a deflexão e a utilização do Método ACN/PCN (*Aircraft Classification Number/Pavement Classification Number*), para avaliar o pavimento. Descrição de outros defeitos comuns em aeródromos e abordagem sobre o Sistema de Gerenciamento de

Pavimento Aeroportuário - SGPA. No Capítulo 3, é explicado métodos utilizados na realização dos levantamentos necessários para a análise funcional e estrutural do aeródromo.

O Capítulo 4 é destinado a expor os resultados da pesquisa para os cinco países em estudo, mostrando os valores numéricos que cada índice representa para determinar se o aeródromo está ou não em condições de uso. Além disso, o capítulo informa os equipamentos/ensaios mais comuns para obtenção dos parâmetros.

Por fim, o Capítulo 5 apresenta as considerações finais da pesquisa na qual é levado em consideração que o trabalho adota alguns dos vários parâmetros que são usados para avaliar o aeródromo. Assim como para os equipamentos, são abordados os que são utilizados com mais frequência e as propostas para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são abordados os dados dos principais aeroportos da França, Portugal, Estados Unidos, Canadá e Brasil, com foco no Estado de Ceará. Ainda neste capítulo, será abordado a fundamentação teórica de pavimento e aeroportuário, análise das condições funcionais e estruturais de um aeródromo, os tipos de defeitos mais comuns e descrição do Sistema de Gerenciamento de Pavimento Aeroportuário - SGPA.

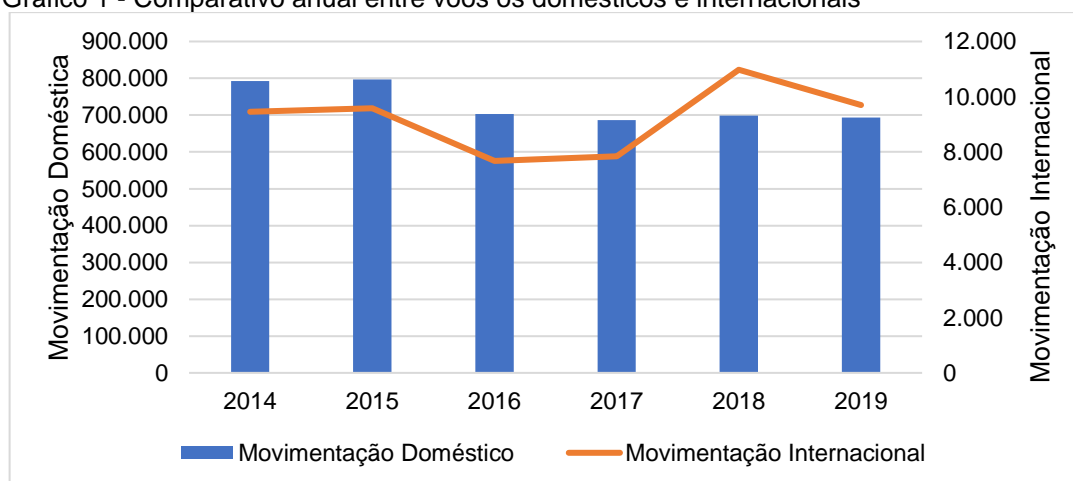
2.1 Dados dos aeroportos

Este item contemplará dados dos aeroportos do Brasil, França, Portugal, Estados Unidos e Canadá. Para o Brasil será dada ênfase na movimentação aeroportuária no Estado do Ceará.

2.1.1 Dados dos aeroportos do Brasil

Segundo INFRAERO (2019), no Anuário Estatístico Operacional é informado sobre a movimentação dos 53 aeroportos administrados. Ocorreu uma redução da movimentação comparado a 2018. Em números, a baixa das movimentações das aeronaves representa 0,95%. No Gráfico 1 é observado que houve uma queda no número de movimentações domésticas comparando 2014 com 2019. Já analisando os anos de 2017 e 2018, nas movimentações internacionais, ocorreu um crescimento.

Gráfico 1 - Comparativo anual entre voos os domésticos e internacionais

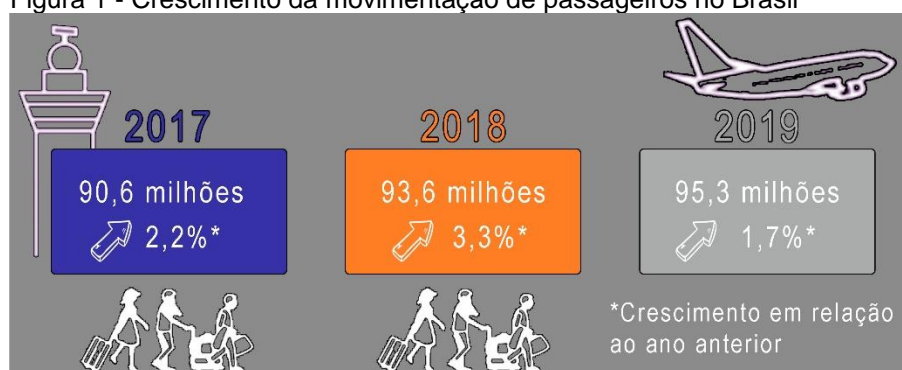


Fonte: Adaptado de INFRAERO (2019).

Conforme a Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC (2020), um total de 104,4 milhões de passageiros foram transportados pelas empresas aéreas em 2019, em voos domésticos e internacionais, o que representou crescimento de 1,35% em relação aos 103 milhões de passageiros pagos transportados em 2018. Para o mercado doméstico, foram conduzidos 95,3 milhões de passageiros no ano passado, crescimento de 1,7% que o verificado em 2018.

A procura por voos cresceu 0,8% e a oferta de assentos diminuiu 1%, resultando uma taxa média de ocupação de aeronaves de 82,7% durante 2019, que superou o aproveitamento de 81,3% verificado no ano anterior. A Figura 1 representa a evolução do número de passageiros entre os anos de 2017 a 2019. Para os três anos houve crescimento (ANAC, 2020). Um dos fatores que contribuiu para crescimento dos voos, no Brasil, é a facilidade na compra de passagens aéreas. As companhias aéreas, nos últimos anos, estão oferecendo melhores condições de pagamento nas passagens, ajudando pessoas que não tinham essa experiência a ter mais uma opção de transporte.

Figura 1 - Crescimento da movimentação de passageiros no Brasil



Fonte: Adaptado de ANAC (2020).

2.1.2 Dados dos aeroportos do Estado do Ceará

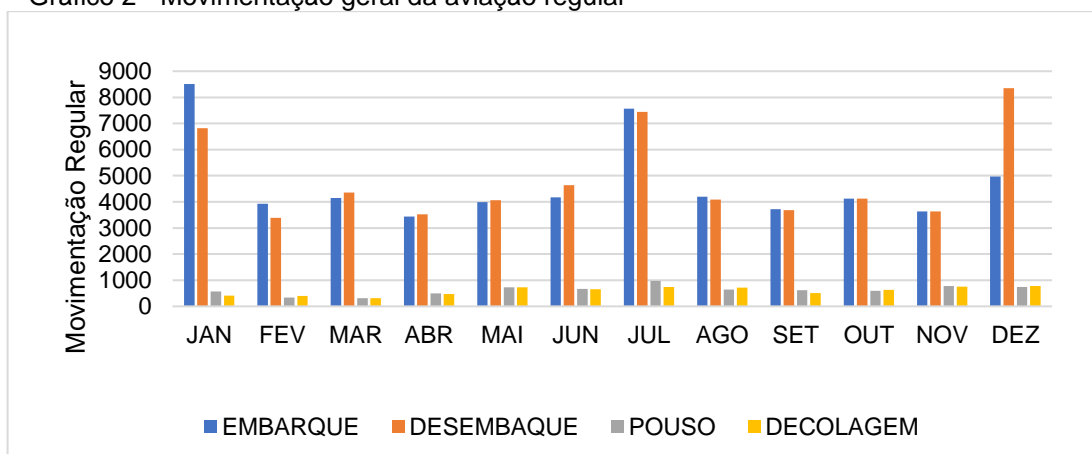
De acordo com Superintendência de Obras Públicas - SOP (2019), a Diretoria de Infraestrutura Rodoviária e Aeroportuária da SOP, através da Gerência de Programas e Operações Aeroportuárias, é responsável pela gestão dos 10 aeroportos regionais do Estado do Ceará, cumprindo a competência da Superintendência para construir, manter, explorar, administrar e conservar aeroportos e campos de pouso. A rede estadual de aeroportos é estruturada para atender às demandas de aviação civil, promover o desenvolvimento socioeconômico do Ceará e contribuir para a melhoria da qualidade de vida da população. A rede é composta por dois aeroportos com operação de aviação comercial, os de Jericoacoara e Aracati. Já os aeroportos de Camocim, Campos Sales, Crateús, Iguatu, Quixadá, São Benedito,

Sobral e Tauá operam voos da aviação geral, sendo importantes para a integração estadual.

Segundo o Departamento de Controle do Espaço Aéreo - DECEA (2020), a aviação Geral integra quaisquer tipos de aviação, que não sejam voos regulares comerciais ou aeronaves militares. Isto compõe desde pequenos aviões de propriedade particular até balonismo, modernos jatos executivos, helicópteros, voos de treinamento e outras atividades aéreas.

O gráfico a seguir, de acordo com a SOP (2019), mostra as movimentações da aviação no Ceará, onde o Gráfico 2 representa os embarques, desembarques, pousos e decolagens da aviação. Existe um destaque significativo com relação aos meses de janeiro, julho e dezembro pois são períodos de alta estação, favorecendo dessa forma o turismo.

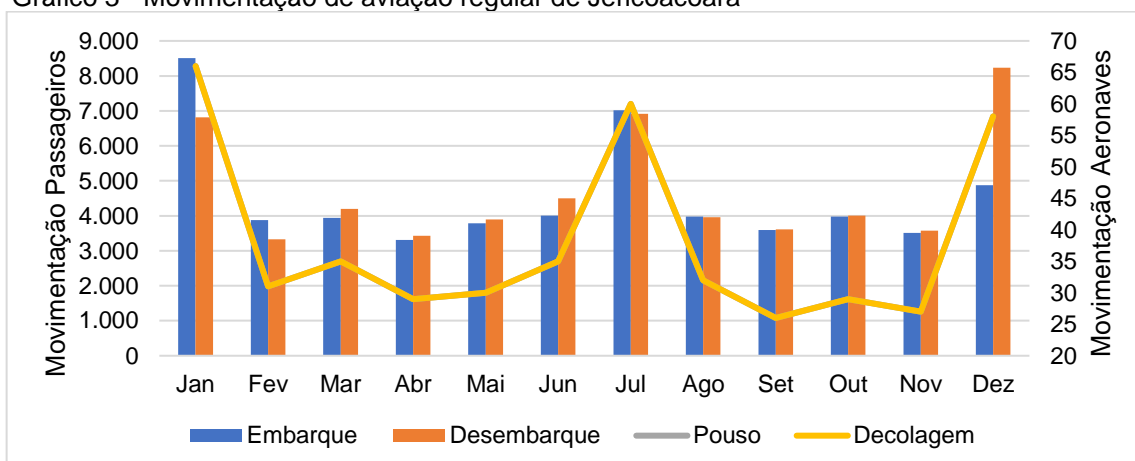
Gráfico 2 - Movimentação geral da aviação regular



Fonte: Adaptado de SOP (2019).

Foi dado ênfase para os aeroportos dos municípios de Jericoacoara e Aracati pois, no Ceará, são os que operam voos comerciais. O gráfico a seguir, conforme a SOP (2019), mostra as movimentações da aviação em Jericoacoara, onde o Gráfico 3 representa os embarques, desembarques, pousos e decolagens da aviação regular. A representação gráfica dos pousos é a mesma para a decolagem, logo, no gráfico está sendo apresentado em linha amarela.

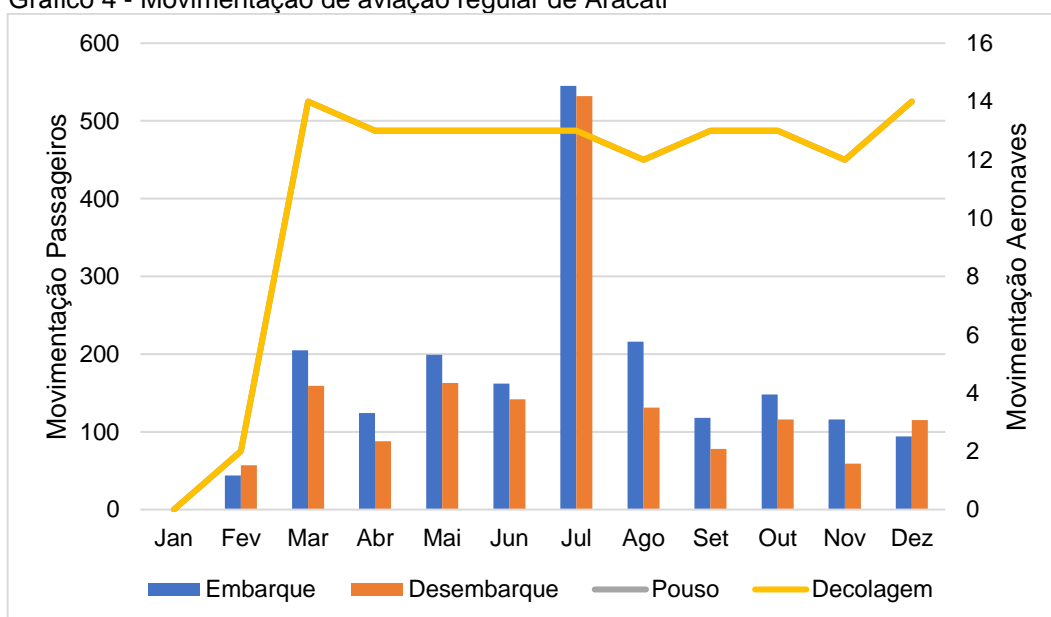
Gráfico 3 - Movimentação de aviação regular de Jericoacoara



Fonte: Adaptado de SOP (2019).

O gráfico a seguir, segundo a SOP (2019), mostra as movimentações da aviação em Aracati, onde o Gráfico 4 representa os embarques, desembarques, pousos e decolagens da aviação regular. A representação gráfica dos pousos é a mesma para a decolagem, logo, no gráfico está sendo apresentado em linha amarela.

Gráfico 4 - Movimentação de aviação regular de Aracati



Fonte: Adaptado de SOP (2019).

2.1.3 Dados dos aeroportos da França

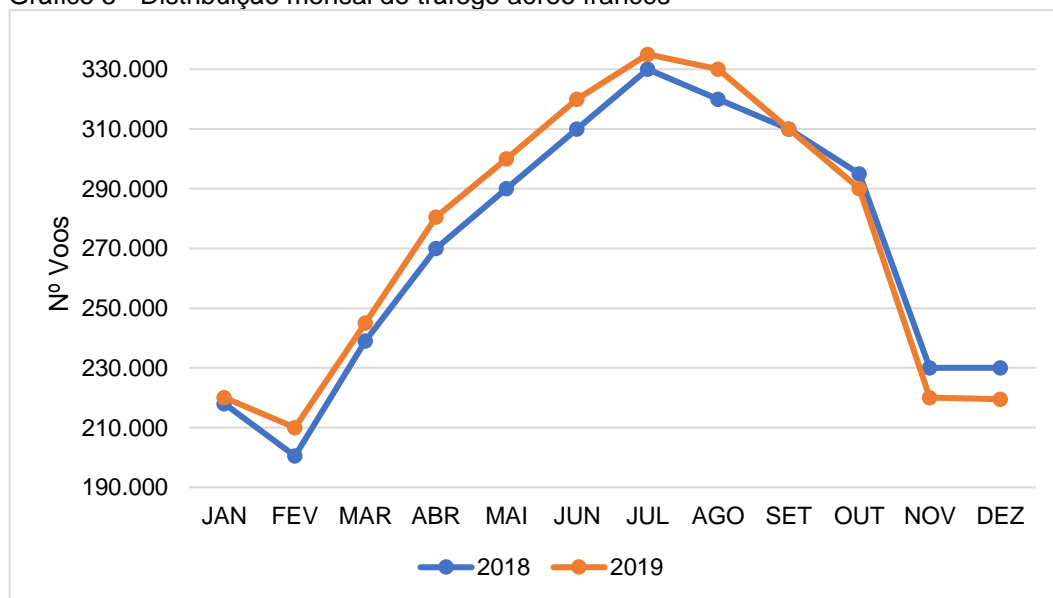
De acordo com a *Direction des Services de la Navigation Aérienne* - DSNA (Direção dos Serviços de Navegação Aérea) (2019), a França dispõe de mais de 100 aeroportos que fazem voos comerciais, o tráfego está concentrado nos 10 principais aeroportos franceses tendo como destaque os aeroportos parisienses CDG (Charles de Gaulle) e Orly.

Conforme dados da DSNA (2019), o tráfego aéreo francês é formado por 51% de sobrevoos, 36% voos internacionais, sendo chegadas ou partidas da França e 13% de voos domésticos. Houve um aumento de 2% nos voos em relação ao ano anterior, devido em particular a fluxos de tráfego com a Itália.

No espaço aéreo francês, o itinerário Espanha / Reino Unido continua sendo o de mais importância. Os voos foram afetados no final do ano, ocasionando uma queda significativa no tráfego do *Centre en route de la navigation aérienne ouest* – CRNA (Centro de Navegação Aérea em rota oeste) de 6% e CRNA leste de 4%. A DSNA (2019) afirma que, nos aeroportos metropolitanos que atendem uma demanda de 201 milhões de passageiros em voos internacionais e domésticos, ocorreu um aumento de 4% por em relação a 2018 (DSNA, 2019).

Embora nos dois últimos meses do ano de 2019, o tráfego doméstico permaneceu constante em termos de movimentos, a nível europeu, a França continua sendo o país que mais controla voos. O Gráfico 5 mostra a quantidade de voos distribuídos de todos os aeroportos franceses nos anos de 2018 e 2019.

Gráfico 5 - Distribuição mensal do tráfego aéreo francês



Fonte: Adaptado de DSNA (2019).

O Tabela 1 representa os 10 principais aeroportos em termos de movimentação na França em 2019.

Tabela 1 - Aeroportos com mais voos em território francês

Aeroporto	Voos
Paris-CDG	505.380
Paris-Orly	221.132
Nice-Côte d'Azur	145.991
Lyon-Saint Exupéry	116.639
Marseille-Provence	102.617
Toulouse-Blagnac	100.116
Bâle-Mulhouse	85.382
Bordeaux-Mérignac	70.182
Nantes-Atlantique	65.743
Paris-Le Bourget	53.685

Fonte: Adaptado de DSNA (2019).

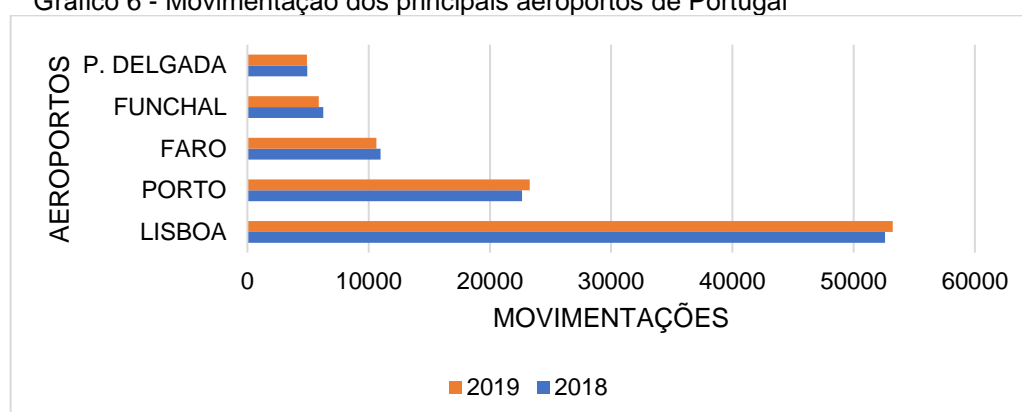
2.1.4 Dados dos aeroportos de Portugal

Conforme a Autoridade Nacional da Aviação Civil - ANAC (2019a), o boletim trimestral é baseado nos aeroportos de Lisboa, Porto, Faro, Funchal e Ponta Delgada, pois são os que contribuem significativamente para as movimentações do país. Ocorreu a menor variação homóloga de movimentos no quarto semestre de 2019 e a maior variação homóloga de passageiros registrados em 2019. Com isso, a movimentação total nos principais aeroportos nacionais cresceu um pouco mais de 1% e o tráfego de passageiros cresceu 13,5% comparado ao ano de 2018.

O segmento comercial doméstico registrou uma queda de aproximadamente 10% do total de movimentos realizados e de 2% do correspondente tráfego comparado a 2018. Esta redução no número de serviços concentrou-se, nas operações dos Transportes Aéreos Portugueses - TAP, em consequência da alteração de frota, que permitiu manter a oferta de lugares em um universo mais reduzido de voos operados (ANAC, 2019b).

O Gráfico 6 mostra o comparativo entre as movimentações ocorridas nos 5 principais aeroportos de Portugal nos últimos trimestres dos anos de 2018 e 2019.

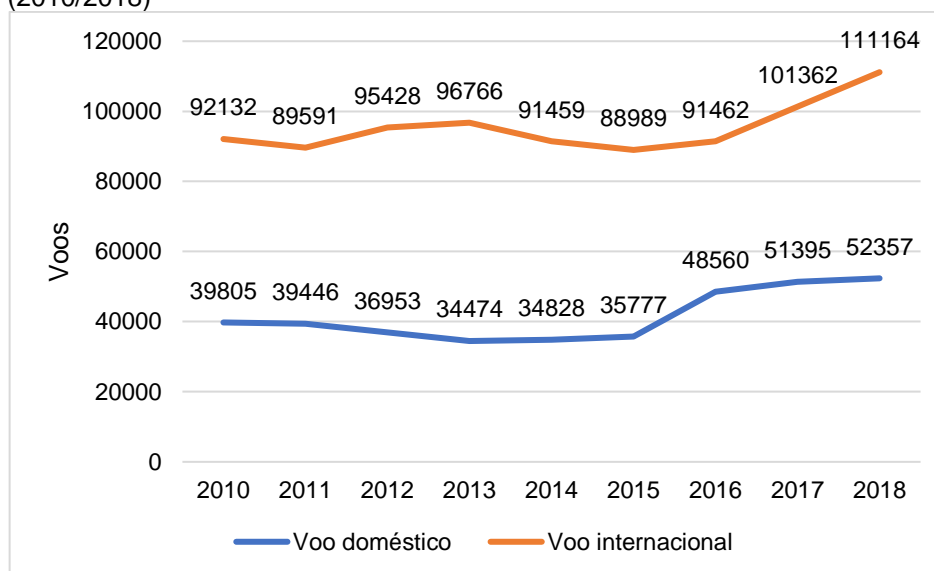
Gráfico 6 - Movimentação dos principais aeroportos de Portugal



Fonte: Adaptado de ANAC (2019).

O Gráfico 7 representa a evolução do número de movimentações em tráfego regular para voos doméstico e internacional de Portugal entre os anos de 2010 e 2018.

Gráfico 7 - Descolagens em tráfego regular doméstico e internacional (2010/2018)



Fonte: Adaptado de ANAC (2019).

2.1.5 Dados dos aeroportos dos Estados Unidos

A FAA é responsável administrar anualmente 16,1 milhões voos. Em uma área de controle de mais de 8,5 milhões de quilômetros quadrados de território aéreo são gerenciados 44.000 voos diários. Os Estados Unidos possuem um total de 19.622 aeroportos disponíveis de forma que 5.092 são públicos e 14.530 são de iniciativa privada (FAA, 2019).

Os serviços aéreos são utilizados por 2.789.971 passageiros diários que voam dentro e fora dos EUA e com um total de um bilhão de passageiros anual. O fluxo é tão representativo que é capaz de contribuir em 5,1% para o Produto Interno Bruto - PIB do país. Foram movimentados 446,8 bilhões de dólares e gerado 10,6 milhões de empregos nos EUA com os trabalhos relacionados a aviação (FAA, 2019).

De acordo com a BTS - *Bureau of Transportation Statistics* (Departamento de Transportes dos Estados Unidos (2020), o crescimento do número de passageiros durante os anos de 2015 a 2019 manteve constância. O volume de passageiro em voos doméstico é bastante elevado em relação ao número de passageiros em voos internacionais. É possível verificar os números da Tabela 2 e analisar essa evolução comparando ano após ano.

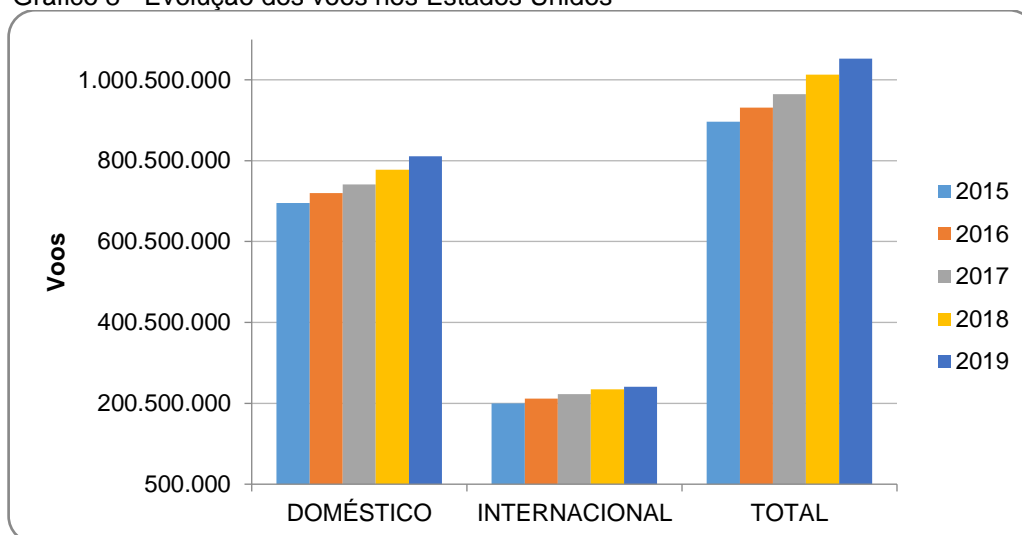
Tabela 2 - Passageiros em voos domésticos e internacionais nos Estados Unidos

Ano	DOMÉSTICO	INTERNACIONAL	TOTAL
2015	696.016.894	200.615.008	896.631.902
2016	719.996.828	211.992.471	931.989.299
2017	741.735.098	223.029.847	964.764.945
2018	777.972.787	235.239.717	1.013.212.504
2019	811.540.272	241.115.011	1.052.655.283

Fonte: Adaptado de BTS (2020).

No Gráfico 8 é possível perceber mais claramente essa evolução ao longo dos anos.

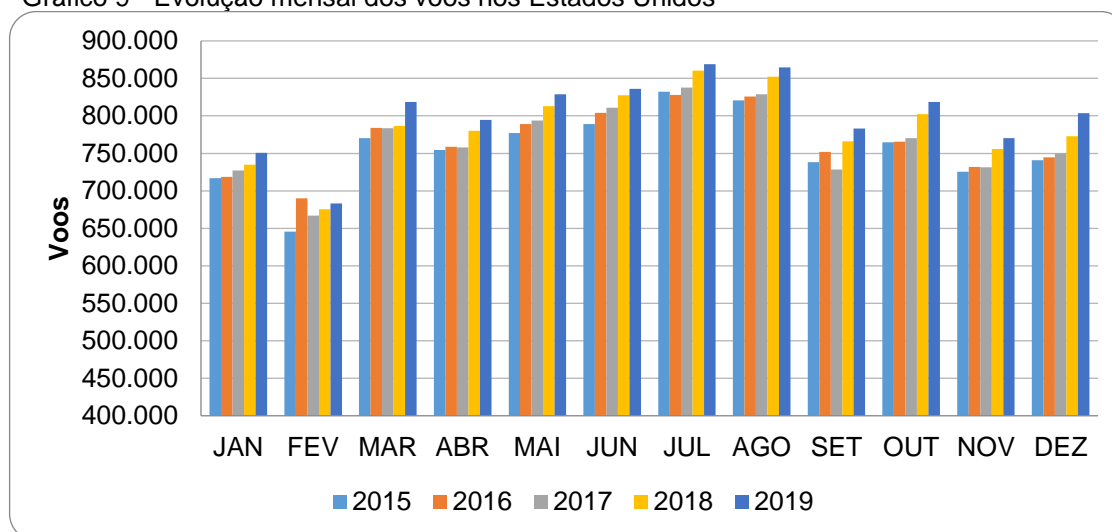
Gráfico 8 - Evolução dos voos nos Estados Unidos



Fonte: Adaptado de BTS (2020).

É válido mencionar a quantidade de voos no país, pois, em média, ocorreu valorização considerável ao longo dos anos de 2015 e 2019. No Gráfico 9, os meses de julho e agostos são os destaques pois apresentam índices de maiores quantidade de voos em média durante o período em análise. Em contra partida, fevereiro é o mês de com os índices mais baixos.

Gráfico 9 - Evolução mensal dos voos nos Estados Unidos



Fonte: Adaptado de BTS (2020).

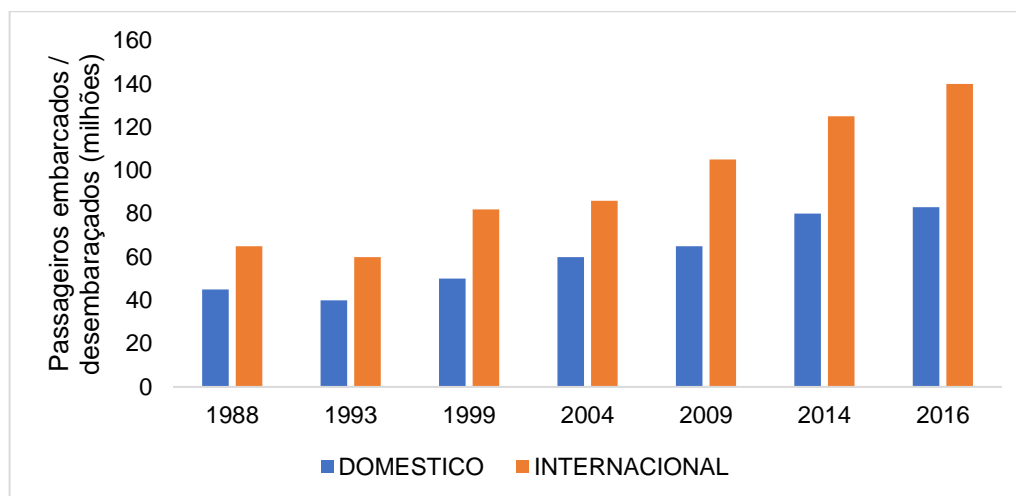
2.1.6 Dados dos aeroportos do Canadá

Segundo o *Canadian Airports Council - CAC* (Conselho Canadense de Aeroportos) (2020), a indústria de transporte aéreo do Canadá está no coração da economia canadense do século 21. Sem um aeroporto competitivo e eficiente e uma indústria aérea, as redes de negócios e instituições sociais do Canadá não funcionariam em seu potencial máximo.

O transporte aéreo permite que os canadenses se conectem entre si, permite que as famílias explorem outras partes do mundo e representa o futuro econômico do Canadá. Os aeroportos do Canadá atenderam 140 milhões de passageiros em 2016, contribui com 102 bilhões de reais para o PIB do Canadá, gera 355.000 empregos, incluindo 194.000 empregos diretos, contribui com R\$37,05 bilhões em impostos para os governos federal, provincial e municipal.

O tráfego de passageiros aéreos no Canadá, mostrado no Gráfico 10, aumentou de 66 milhões de passageiros em 1988 para mais de 140 milhões passageiros em 2016. Isso é um aumento de 112 por cento, ou uma taxa composta de crescimento anual de 3% em 28 anos. Em média, aproximadamente um milhão de passageiros passam pelos aeroportos do Canadá a cada dois dias e meio. Significa que a cada 63 horas, os aeroportos criam diretamente 1.400 empregos em tempo integral (CAC, 2020).

Gráfico 10 - Fluxo de passageiros embarcados e desembarcados



Fonte: CAC (2020).

2.2 Pavimentos aeroportuários

Segundo ANAC (2017), aeródromo é uma área delimitada em terra ou na água, por completo ou em parte, para movimentação, decolagem e pouso em superfície de aeronaves. Quando destinado exclusivamente a helicópteros, recebe denominação de heliponto. Aeródromo civil significa um aeródromo destinado à operação de aeronaves civis. É possível ser utilizado por aeronaves militares, obedecendo as normas estabelecidas pela autoridade competente.

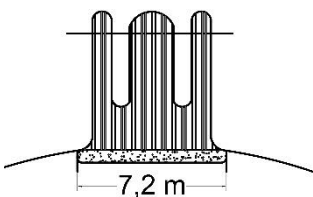
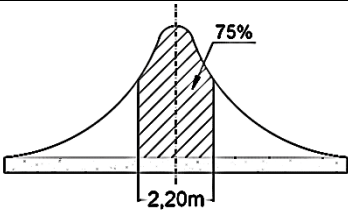
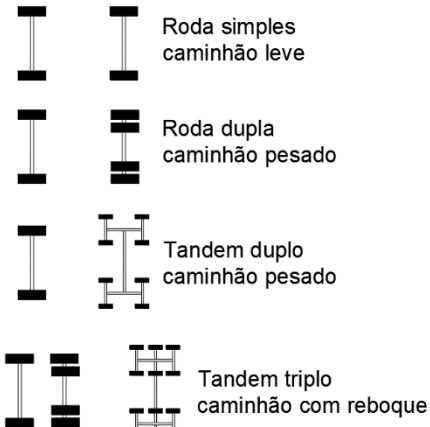
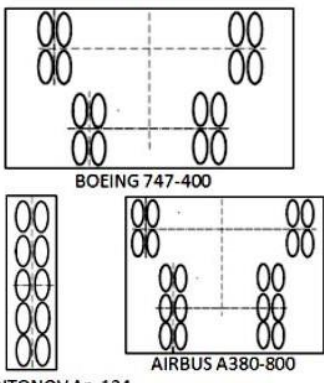
Os Aeroportos são aeródromos públicos dotados de instalações e facilidades para apoio de operações de aeronaves e de embarque e desembarque de pessoas e cargas. Portanto todo aeroporto é também um aeródromo, mas a recíproca não é verdadeira (CORDOVIL, 2010).

Existem também os aeroportos chamados compartilhados que têm uso civil e militar. Como exemplo desses casos no Brasil, podemos citar os aeroportos de Florianópolis, Galeão, localizado no Rio de Janeiro, Belém, Recife, entre outros.

Os pavimentos aeroportuários são estruturas projetadas e construídas para serem capazes de suportar as cargas impostas pelas aeronaves e oferecer uma superfície confortável e segura para as operações de pousos e decolagens, tanto na condição seca quanto quando na condição de contaminação por água das chuvas. Segundo Medina e Motta (2005), existem diferenças significativas entre os pavimentos rodoviários e os pavimentos aeroportuários, principalmente no que se refere às características geométricas e físicas, tipo do tráfego e solicitações.

O Quadro 1 apresenta uma série de diferenças entre as características dos pavimentos aeroportuários e rodoviários.

Quadro 1 - Diferenças entre rodovias e aeródromos

Características	Rodovias	Aeródromos
Largura das pistas	7 a 10 metros	20 a 50 metros (táxis: 10 a 25m)
Comprimento	Vários quilômetros	Até cerca de 3000 metros
Cargas	10 tf por eixo, veículo 45 tf máximo.	100 tf ou mais por trem de pouso principal, aviões de até 500tf.
Frequência de repetição de cargas	Por exemplo: 2000 veículos por dia, vários milhões na vida de serviço, o efeito da fadiga dos materiais é importante.	Pequena, por dia: 50 a 100; menos de 1.000.000 na vida de serviço.
Pressão dos pneu- máticos	0,15 a 0,6 Mpa (1,5 a 6kgf/cm ²)	1 a 3 Mpa (10 a 30kgf/cm ²)
Distribuição transversal da carga nas pistas	 <p>7,2 m (Não se faz diferenciação transversal praticamente)</p>	 <p>75% 2,20m (Diferencia-se o dimensionamento transversalmente)</p>
Impacto do veículo no pavimento	Pequeno	Grande no pouso, porém minorado pela sustentação do ar e amortecimento.
Ação da carga dinâmica (vibrações) de veículos parados	Não considerada.	É importante nas cabeceiras das pistas, na decolagem e nas pistas de taxiamento.
Ação de frenagem	Não é relevante; e sim nas ruas, nos sinais luminosos (semáforos), nos cruzamentos, etc.	Importante quando do acionamento dos motores, com as rodas do trem de pouso travadas, antes da decolagem.
Geometria das rodas	 <p>Roda simples caminhão leve Roda dupla caminhão pesado Tandem duplo caminhão pesado Tandem triplo caminhão com reboque</p>	<p>Exemplos de alguns trens de pouso de aeronaves segundo a FAA (2009).</p>  <p>BOEING 747-400 AIRBUS A380-800 ANTONOV An-124</p>

Fonte: Adaptado de MEDINA e MOTTA, 2005.

Quanto às solicitações impostas, os pavimentos aeroportuários se distinguem dos rodoviários principalmente pela magnitude das cargas aplicadas, pelo menor número de número de repetições e ainda pela forma que pavimento é solicitado com esforços gerados pelo impacto no momento do pouso, o que geralmente não ocorre em rodovias.

2.3 Condição funcional dos pavimentos aeroportuários

A aderência da pista de pouso e decolagem significa a propriedade física caracterizada pela força de contato entre os pneus da aeronave e a superfície da camada de rolamento do pavimento da pista, que assegura à aeronave resistência à derrapagem e controle direcional. As condições de aderência da pista de pouso e decolagem são fornecidas pela textura superficial (microtextura e macrotextura), pelo atrito e pela irregularidade longitudinal (ANAC, 2019).

2.3.1 Textura

Segundo considerações de Fonseca (1990), Direng (1991), Kazda e Caves (2000), a textura das superfícies dos pavimentos aeroportuários é caracterizada pela microtextura e pela macrotextura. Isso pelo fato de que esses são os dois elementos que mais proporcionam características antiderrapantes à superfície dos pavimentos, sendo fundamentais para a composição do coeficiente de atrito e do processo de aderência pneu-pavimento.

De acordo com a *International Civil Aviation Organization - ICAO* (Organização Internacional da Aviação Civil) (2002), a microtextura é a textura representada pela superfície das partículas individualmente, que podem ser sentidas pelo tato, mas que não se pode medir diretamente. Para Oliveira (2009), a macrotextura é o parâmetro responsável pela drenagem ativa de água da superfície dos pavimentos aeroportuários. Por isso existe a preocupação com relação à impregnação de borracha, já que esse contaminante pode preencher as ranhuras e não permitir o adequado escoamento da água, favorecendo os eventos de aquaplanagem.

Na Figura 2 é possível observar o *Grooving*, na qual representa uma técnica que tem como objetivo reduzir a aquaplanagem e os acidentes. De acordo com CAVA (2019), o *Grooving* é uma técnica muito utilizada em pavimentos aeroportuários para melhorar o contato entre as rodas das aeronaves e o pavimento, aumentando dessa forma a segurança em operações de aterrissagem.

Figura 2 – Grooving



Fonte: Cava (2019).

Na Tabela 3 é reunido os dados dos relatórios de classificação de macrotextura. Os dados foram analisados pela ANAC (2019).

Tabela 3 - 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: Adaptado da ANAC, (2019c).

2.3.2 Atrito

As características de atrito das pistas de pousos e decolagens mudam com o tempo e em virtude de outras questões como o tipo e frequência das aeronaves, condições climáticas e ambientais, presença de contaminantes, dentre outras. É preciso, então, provê-las adequadamente de forma que se garantam as condições mínimas de segurança operacional às aeronaves que utilizam essas pistas, evitando acidentes (OLIVEIRA, 2009).

A água poderia ser chamada de um dos maiores vilões por um engenheiro civil. No caso de águas em suspensão sob o pavimento formando uma lâmina de água, esta irá influenciar no atrito pneu-pavimento. Quando a roda passa sobre a lâmina ocorre uma perturbação do fluido, causando sua ascensão pela parede do

pneu e gerando forças hidrodinâmicas, ocorrendo o fenômeno de aquaplanagem como mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Interação pneu-fluido-pavimento



Fonte: Silva (2009).

As características de atrito dos pavimentos aeroportuários, especialmente nas pistas de pouso e decolagem, podem afetar a segurança das operações das aeronaves. Uma condição de atrito deficiente pode gerar graves incidentes ou até mesmo acidentes com inúmeras vítimas fatais (OLIVEIRA, 2009).

De acordo com Fernandes (2010), em pistas curtas, cuja extensão disponível é próxima da distância operacional requerida, o atrito constitui o principal meio de paragem de uma aeronave após a interrupção de um pouso ou uma decolagem. A Tabela 4 reúne os parâmetros de coeficiente de atrito por tipo de equipamento de medição. Os dados foram analisados pela ANAC (2019).

Tabela 4 - Parâmetros de coeficiente de atrito por tipo de equipamento de medição

EQUIPAMENTO	PNEU		VELOCIDADE DO ENSAIO (Km/h)	PROFUNDIDADE DA LÂMINA D'ÁGUA SIMULADA (mm)	COEFICIENTE DE ATRITO	
	TIPO	PRESSÃO (Kpa)			NÍVEL DE MANUTENÇÃO	NÍVEL MÍNIMO
<i>Mu-meter</i>	A	70	65	1	0,52	0,42
	A	70	95	1	0,38	0,26
<i>Skidometer</i>	B	210	65	1	0,6	0,5
	B	210	95	1	0,47	0,34
<i>Surface friction tester vehicle</i>	B	210	65	1	0,6	0,5
	B	210	95	1	0,47	0,34
<i>Runway friction tester vehicle</i>	B	210	65	1	0,6	0,5
	B	210	95	1	0,54	0,41
<i>Tatra</i>	B	210	65	1	0,57	0,48
	B	210	95	1	0,52	0,42
<i>Grip tester</i>	C	140	65	1	0,53	0,43
	C	140	95	1	0,36	0,24

Fonte: Adaptado da ANAC (2019).

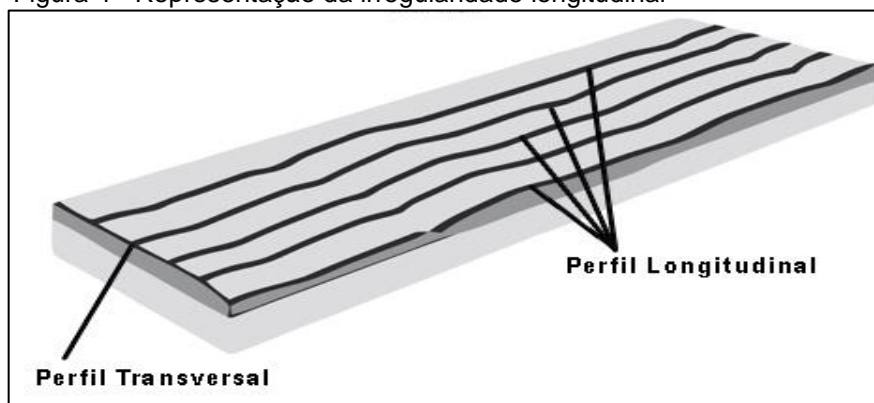
2.3.3 Irregularidade longitudinal

De acordo com a *American Society for Testing and Materials* – ASTM (Sociedade Americana de Testes e Materiais) (2010), a qualidade e conforto ao rolamento de um pavimento estão diretamente relacionados à irregularidade de sua superfície. A irregularidade sendo como os desvios de uma superfície, em relação a uma superfície plana, com dimensões características que afetam a dinâmica do veículo, a qualidade de rolamento, a dinâmica das cargas e a drenagem.

Em contrapartida, de acordo com Medina e Motta (2005), uma característica marcante dos pavimentos dos aeródromos é o maior nível exigência e controle tanto na execução quanto na manutenção desses pavimentos, para a garantia de desempenho funcional da superfície que ofereça condições satisfatórias de aderência aferida pelos parâmetros de atrito e macrotextura e de suavidade ao rolamento comumente medida pelo *International Roughness Index* - IRI (Índice Internacional de Irregularidade).

Segundo Woodstrom (1990), *apud* Marcon (2011), os engenheiros de pavimentos devem ter em mente que as rodovias e aeroportos devem ser econômicos na construção e em serviço, seguros quanto à movimentação do tráfego e confortáveis e suaves para o usuário. A irregularidade do pavimento é um dos principais fatores da avaliação de sua eficiência, por isso uma série de métodos e equipamentos tem sido desenvolvida para medir esta variável. As distorções da superfície são causadas pelas cargas do tráfego que provocam deformações permanentes, por falhas construtivas ou ainda pela movimentação das camadas de fundação do pavimento. A Figura 4 mostra os diferentes níveis de irregularidade longitudinal em pavimentos.

Figura 4 - Representação da irregularidade longitudinal



Fonte: Adaptado de Douangphachanh (2014).

Em contrapartida, a *Federal Aviation Administration – FAA* (2009), em relação ao conforto dos passageiros, a irregularidade do pavimento não é definida por qualidade de passeio ou desconforto do ocupante. Embora importante, o desconforto dos passageiros, devido às irregularidades da superfície do pavimento frequentemente não é considerado um problema significativo, uma vez que o grau de desconforto é pequeno e o tempo de exposição é limitado a alguns segundos. Além disso, o desconforto do passageiro muitas vezes ocorre durante as operações de pouso e decolagem, ruído do motor, ruído aerodinâmico e/ou aceleração ou desaceleração horizontal.

Em relação à segurança nas operações em solo da aeronave, o efeito da carga dinâmica pode reduzir a capacidade de frenagem, pois a carga aplicada por eixo pode atingir duas ou mais vezes a carga estática. Esse conceito também acelera o ciclo de degradação do pavimento, além disso provoca fadiga nos componentes das aeronaves, aumentando os custos operacionais (FERNANDES, 2010).

Outro fator devido às irregularidades, que também afetam as operações da aeronave em solo, é a capacidade do piloto em observar a instrumentação da cabine. Irregularidades da superfície do pavimento podem causar vibrações suficientes na cabine da aeronave de tal forma que os pilotos podem perder a concentração ou terem dificuldades em manipular os controles da aeronave durante o procedimento de pouso e decolagem (FAA, 2009).

2.4 Condição estrutural dos pavimentos aeroportuários

A avaliação estrutural de pavimentos pode ser determinada como a capacidade de uma estrutura suportar as cargas dos veículos ou aeronaves que utilizam esses pavimentos. A avaliação deve ser executada com equipamentos e processos apropriados. A deflexão do pavimento sob carregamento é um parâmetro imprescindível para a avaliação estrutural de um pavimento (RAMOS, 2015).

Os pavimentos aeroportuários devem oferecer aos seus usuários um grau de serviço elevado através de parâmetros operacionais, de qualidade e segurança necessários, de tal forma que não se tornem fatores contribuintes ao acontecimento de acidentes ou incidentes envolvendo aeronaves em superfície. Assim, torna-se importante o questionamento sobre a sua condição estrutural. Basicamente, as condições de capacidade estrutural e de resistência dos pavimentos aeroportuários são representadas pelo Método ACN/PCN (*Aircraft Classification Number/Pavement*

Classification Number), que tem por finalidade a comparação da resistência do pavimento em função das características de classificação das aeronaves (ACN) e dos pavimentos (PCN) (OLIVEIRA, 2016).

Dessa maneira, por definição da ICAO (1983), tem-se que o ACN é o resultado que indica o feito relativo de uma aeronave com uma determinada carga sobre um pavimento, para uma especificada resistência de subleito. Já o PCN é o valor que exprime a capacidade de resistência de um determinado pavimento para operações sem restrições. Sintetizando, o Método ACN/PCN aponta que um pavimento com um determinado valor de PCN pode resistir, sem restrições, qualquer aeronave classificada com um valor de ACN igual ou inferior ao PCN informado, sendo necessário que seja obedecida as limitações de pressão dos seus pneus.

2.5 Defeitos comuns em pavimentos aeroportuários

É após a abertura ao tráfego de um pavimento que começa o processo de deterioração e, na inexistência de atividades de manutenção e reabilitação, o conduzirá à ruína. O carregamento cíclico devido ao tráfego das aeronaves e aos efeitos adversos do clima como as variações de temperatura e umidade e o efeito gelo-degelo provocam desgaste e aparecimento de pequenos defeitos que se não são imediatamente corrigidos, ampliam-se acelerando a deterioração do pavimento. O avanço gradual da deterioração faz com que o nível de serventia dos pavimentos diminua ao longo do tempo em um determinado grau, de acordo o dimensionamento da estrutura e das características dos materiais de construção (SILVA, 2009).

Os defeitos tanto nos pavimentos rígidos quanto nos pavimentos flexíveis além de ser ocasionados pela repetição de cargas de tráfego e os efeitos adversos do clima, podem também ser originados pela baixa qualidade dos materiais de construção e as ineficientes técnicas dos processos construtivos (BARROS, 2008).

De acordo com White (2018), os defeitos presentes nos pavimentos aeroportuários não são significativamente diferentes dos encontrados em rodovias, porém, a execução de aeródromos necessita de requisitos específicos. O material solto gerado pelo pavimento, conhecido como *Foreign Object Debris* – FOD (Danos por Objetos Estranhos) e a resistência a derrapagem reduzem a tolerância a tais defeitos.

A temperatura contribui para o surgimento desses defeitos pois afeta as propriedades do betume, material usado na execução do pavimento. A fadiga causada

pelas altas cargas é outro fator que contribui para surgimento de defeitos. Trincas por fadiga de baixo para cima no asfalto raramente são encontradas em pavimentos aeroportuários devido ao baixo volume de tráfego e elevada espessura do pavimento (WHITE, 2018).

White (2018) afirma que isso não garante que os aeródromos sejam imunes de fadiga no asfalto e apresentem trincas por fadiga. Quando os pavimentos estão sobrecarregados, ocorre uma alta deflexão vertical. Quando expostos a altos desvios, a superfície do pavimento falha por fadiga de baixo para cima. Os tipos de defeitos, impactos gerados, o que afetam e os níveis de riscos dos principais defeitos presentes em pavimentos aeroportuários são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Defeitos nos pavimentos aeroportuários flexíveis

DEFEITOS	IMPACTADOS SOBRE	AFETADOR POR	NÍVEL DE RISCO
Afundamento da trilha de roda - <i>Rutting</i>	Resistência ao deslizamento Suavidade da superfície	Resistência à deformação	MÉDIO
Solevamento da placa de concreto - <i>Shearing/shoving</i>	Resistência ao deslizamento Suavidade da superfície	Resistência à deformação	ALTO
Trinca longitudinal - <i>Top down cracking</i>	Geração de material solto Superfície estanque à água	Resistência à fratura	MÉDIO
Trinca por fadiga - <i>Fatigue cracking</i>	Geração de material solto Superfície estanque à água	Resistência à fratura	BAIXO
Estrias por falha longitudinal devido ao desprendimento de agregado - <i>Groove closure</i>	Resistência ao deslizamento	Resistência à deformação	ALTO
<i>Exsudação- Bleeding</i>	Resistência ao deslizamento Resistência à deformação	Composição volumétrica	BAIXO
Perda de aderência entre o ligante e o agregado com presença de água - <i>Stripping</i>	Resistência à deformação	Susceptibilidade à umidade Classificação agregada	MÉDIO
Desprendimento de agregados pela ação do trânsito e das intempéries - <i>Premature ravelling</i>	Geração de material solto	Classificação agregada Envelhecimento do betume	MÉDIO
Desarranjo que resulta na irregularidade de funcionamento do veículo - <i>Aggregate breakdown</i>	Geração de material solto	Propriedades agregadas	BAIXO

Fonte: Adaptado White (2018).

2.6 Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários (SGPA)

Os aeródromos são construídos com a finalidade de suportar as cargas que serão impostas pelas aeronaves além de possuir uma superfície suave ao rolamento

e livre de resíduos que possam vir a danificar as hélices ou turbinas. Afim de que possa satisfazer essas condições, o pavimento deve ser de espessura e qualidade que não falhará sob a ação dos esforços aplicados e ter estabilidade necessária para suportar a ação abrasiva do tráfego e as condições climáticas adversas. Para produzir tais pavimentos, é necessária uma coordenação de fatores de projeto, construção e inspeção, para assegurar a melhor combinação possível de materiais e recursos disponíveis e um alto padrão de acabamento (FAA, 2009).

Segundo a ANAC (2012), o operador do aeródromo é responsável por estabelecer e documentar as condições e procedimentos de monitoramento e avaliação dos pavimentos baseados em sistema de gerenciamento de pavimentos, analisando manter as condições funcionais e estruturais.

Os interesses de implantação dos sistemas na década dos anos 80 envolveram a realização de diversas atividades que compreendiam em análises das condições estruturais e funcionais dos pavimentos. A pesquisa por dados mais amplos levou à realização de levantamentos e de medições de rugosidade, de atrito e de deflexões. A carência de fundos para as atividades de preservação e de restauração provocou a aquisição de *softwares* desenvolvidos pelas agências aeroportuárias (FONSECA, 2003).

De acordo com trabalho do *Gouvernement du Canada* (2014), é necessário dar importância para o banco de dados também, pois em muitas situações eles são negligenciados, em especial, quando não lhes são supridas as informações obtidas nas demais atividades. Devem ser mantidos dados técnicos sobre o plano inventário dos pavimentos, histórico de construção, resumos da avaliação dos pavimentos, síntese das características do solo da sub-base e dados ambientais.

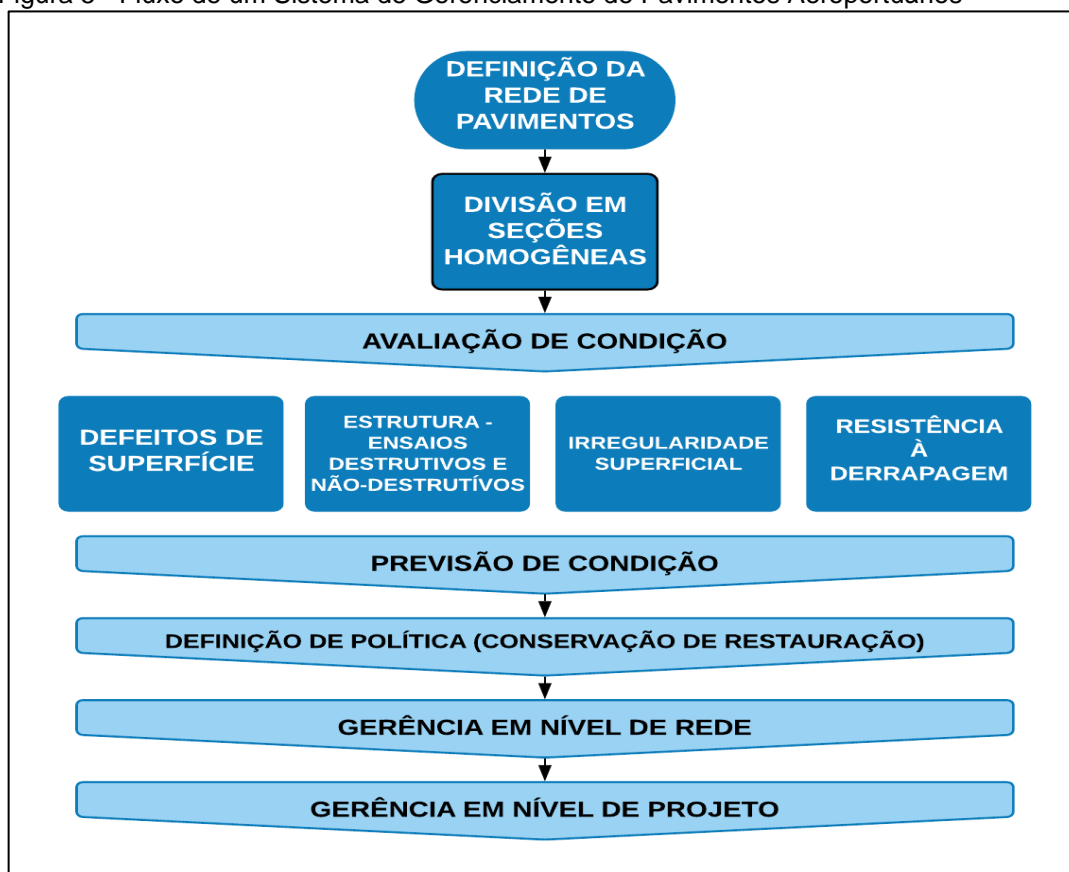
Conforme *Gouvernement du Canada* (2014), as atividades de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários, são praticamente as mesmas apresentadas por Haas e Hudson (1978). A diferença está na interação que as atividades de ciclo de vida do pavimento, representadas por planejamento, programação, projeto, construção, operação, avaliação, manutenção e outras necessidades, apresentam com o suporte técnico.

Uma vez executado, as operações das aeronaves começarão a condicionar as particularidades da superfície dos pavimentos que devem ser avaliados

constantemente para garantir as condições de operações e de segurança necessárias. Para o *Gouvernement du Canada* (2014), grande parte dos operadores aeroportuários, por não possuírem conhecimento técnico adequado necessitam de serviços e apoio da engenharia que devem ser fornecidos com o apoio cooperado do governo, da indústria dos transportes e de outras administrações aeroportuárias.

Conforme a INFRAERO (2005), um dos principais objetivos de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários é a de apresentar e garantir, economicamente, um complexo de estruturas e equipamentos que permita um padrão de serventia operacional aceitável e adequado à sua finalidade, e que siga o fluxo da Figura 5.

Figura 5 - Fluxo de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários



Fonte: Adaptado da INFRAERO (2005).

Os recursos financeiros a serem disponibilizados, independentes de origem pública ou privada, necessitam que sejam bem utilizados, tendo em conta o retorno que deve ser dado à sociedade que, de certo modo, através de tarifas aeroportuárias e impostos, fez esse investimento. Assim, é fundamental antecipar as condições existentes e futuras de uma rede de pavimentos para que se possa ter uma

administração sobre o dinheiro a investir, e assim obter uma base confiável para a alocação desses fundos (OLIVEIRA, 2016).

Oliveira (2016) conclui que, desse modo, é necessário que o operador do aeródromo disponha de um Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários que o atenda no processo de tomada de decisões, de forma a operar com segurança os pavimentos aeroportuários, dentro de padrões internacionais de operação e de segurança.

3 METODOLOGIA

O trabalho foi fundamentado nas normas técnicas que especificam os parâmetros de avaliação funcional e estrutural aeroportuária para pavimentos flexíveis de cinco países: Brasil, França, Portugal, Estados Unidos e Canadá. Cada parâmetro, comumente, necessita de ensaios e equipamentos específicos para avaliar as condições funcionais ou estruturais do pavimento.

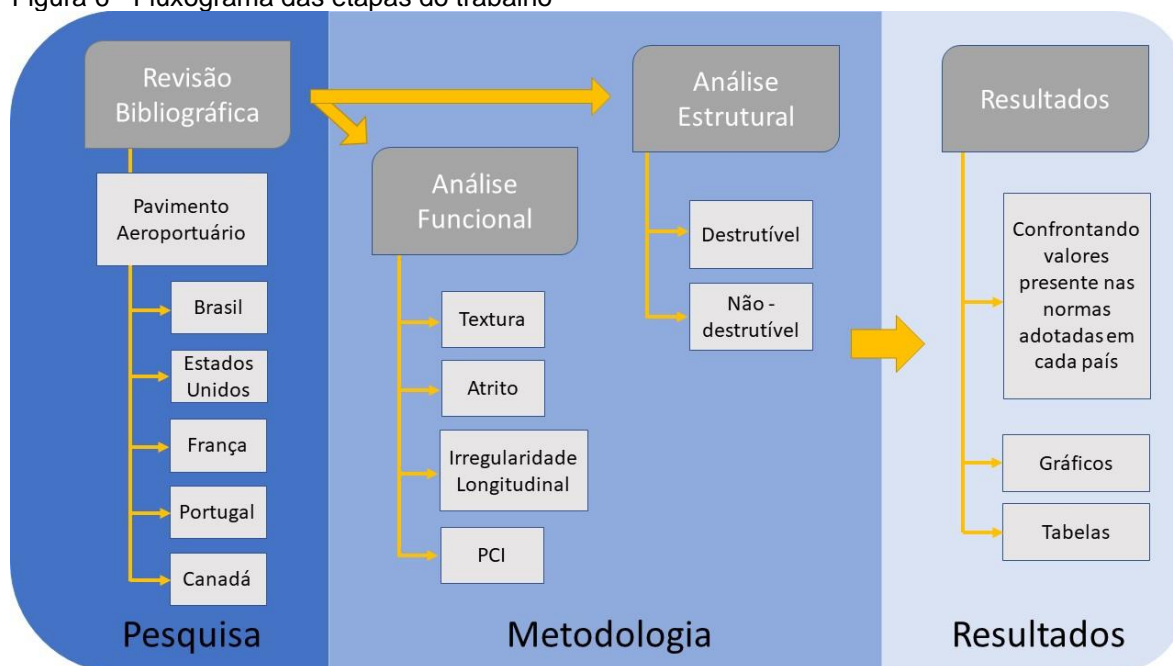
Os parâmetros avaliativos foram abordados conforme suas classificações em concordância com suas normas e assim determinando as condições de uso do pavimento. Os índices e equipamentos foram confrontados entre cada região, expostos através de um quadro para visualização entre os resultados.

Para a execução dos objetivos do presente trabalho, foi adotada metodologia dividida em três etapas. Na primeira, por meio de pesquisa bibliográfica do tipo documental baseada em normas técnicas, trabalhos acadêmicos, teses e artigos dos países em estudos. Foi feita a revisão do referencial teórico relativo aos indicadores de desempenho do pavimento aeroportuário e a sua aplicação ao setor de aviação pelos países abordados.

Na etapa seguinte, foram confrontados, com base no referencial teórico adotado e por meio de pesquisa documental adicional, os respectivos indicadores de desempenho relacionados com a pavimentação aeroportuária com ênfase na avaliação funcional e estrutural de pistas de pouso e decolagem e de pátio de aeronaves.

Por fim, na terceira etapa, os parâmetros avaliativos mensurados foram confrontados conforme as classificações de cada região. Foram expostos além dos índices, os equipamentos/ensaios que fornecem os parâmetros. As etapas, mencionadas anteriormente, foram dispostas por meio do fluxograma encontrado na Figura 6, apresentando a relação entre as mesmas e o desenvolvimento deste trabalho.

Figura 6 - Fluxograma das etapas do trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor.

Alguns termos são extensamente empregados ao longo da pesquisa, tais como: padrões e recomendações; critérios, metodologias e recomendações de projeto; especificação; base de especificação; e referencial. A seguir estas expressões são definidas.

De acordo com Silva (2012), padrões e recomendações se referem às especificações feitas pelas normas em relação a um determinado critério ou consideração de projeto. Como exemplo, a especificação de que a pista de pouso e decolagem deva possuir 45m de largura. Neste caso, a largura da pista de pouso e decolagem é um critério de projeto, e a especificação da largura em 45m é um padrão de projeto. No que lhe diz respeito, padrões e recomendações diferem quanto ao grau de condição: um padrão é uma exigência mínima, a menos que devidamente flexibilizado. Uma recomendação tem caráter opcional aos Estados. Em alguns casos, os Estados adotam recomendações como padrões, de forma a aumentar a segurança operacional.

Critério, metodologia e recomendação de projeto diferem entre si. A título de exemplo, a largura da pista de pouso e decolagem é um critério de projeto, cabendo especificações. O método de projeto de uma sobrelargura é o exemplo de uma metodologia de projeto, não cabendo especificações à metodologia em si. Já o *jet blast*, fenômeno do movimento rápido do ar produzido pelos motores a jato das

aeronaves, é uma consideração de projeto, à qual cabe uma metodologia de avaliação, e especificações para critérios de projeto que compõem a consideração, como por exemplo, o limite da velocidade do fluxo sobre pessoas e veículos (SILVA, 2012).

Ainda conforme Silva (2012), a base de especificação se refere às variáveis utilizadas para estabelecer-se os padrões e recomendações. No caso do critério de projeto largura da pista de pouso e decolagem, para a ICAO, a base de especificação inclui o *Aerodrome Reference Code* - ARC (Código de referência do aeródromo), que, por sua vez, é definido com base em características da aeronave e o fato de a pista de pouso e decolagem se destinar a aproximações de precisão ou não.

No atrito, macrotextura e irregularidade longitudinal são os parâmetros que seguem as normas da ANAC (2019c), especificamente o RBAC 153 - Emenda 04. Já para a avaliação estrutural é considerado o método ACN/PCN que também é regulamentada pela ANAC (2019), especificamente o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil - RBAC 153 - Emenda 04.

Para avaliação funcional serão expostos os parâmetros tais como: PCI, atrito, macrotextura e irregularidade longitudinal. Para o PCI, foi abordado uma norma específica: *Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys* - ASTM D5340 – 12 (Método de Teste Padrão para Pesquisas de Índice de Condição de Pavimento Aeroportuário), que detalha todo procedimento do método. O trabalho foi construindo com referência à ensaios analisados dentro do espaço do aeródromo de pistas de pouso e decolagem.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo foi dedicado a apresentar os valores adotados dos parâmetros de avaliação funcional e estrutural nos países em estudo. Foram expostos os principais equipamentos de medição indicando os índices significativos para as avaliações funcionais e estruturais.

4.1 Avaliação Funcional

4.1.1 Atrito

No Brasil, para avaliação do atrito, uma lista de equipamentos que podem ser usados para conferir tal parâmetro. Cada equipamento informa um coeficiente diferente, porém para cada dado admite-se uma tolerância de 2,5%.

O equipamento é comumente usado para avaliar o atrito é o *Mu-meter Trailer*, ele possui rodas laterais com inclinação de $7,5^\circ$, com relação ao longitudinal, o que produz uma taxa de escorregamento de 13%. Além disso, existe uma roda traseira, centralizada, cujas funções são a estabilização do movimento e a medição da distância percorrida como visto na Figura 7.

Figura 7 - Medição de atrito com *Mu-meter Trailer*



Fonte: Rodrigues Filho (2006).

Os indicadores para o *Mu-meter Trailer* são definidos conforme as velocidades estipuladas para o equipamento. Considerando 65km/h, tem-se como parâmetro o valor de 0,42 para um nível mínimo e 0,52 para um nível de manutenção. Entretanto para uma velocidade de 95km/h, tem-se um valor de 0,26 para um nível mínimo e 0,38 para um nível de manutenção.

Em particular, no Nordeste do Brasil, o equipamento mais utilizado para medir o atrito é o *Grip Tester*, Figura 8. O ensaio consiste na medição do atrito pneu-pavimento, numa simulação de superfície molhada pela ocorrência de chuva. Essa simulação é feita através do espargimento de uma vazão constante de água na frente da roda teste do equipamento durante o ensaio.

Figura 8 - *Grip Tester*: equipamento de medição de atrito



Fonte: <http://dynatest.com.br/grip-tester>.

Os indicadores para o *Grip Tester* são definidos conforme as velocidades estipuladas para o equipamento. Considerando 65km/h, temos como parâmetro o valor de 0,43 para um nível mínimo e 0,53 para um nível de manutenção. Entretanto para uma velocidade de 95km/h, tem-se um valor de 0,24 para um nível mínimo e 0,36 para um nível de manutenção.

Na França, de acordo com o *Service Technique de l'Aviation Civile* - STAC (Serviço Técnico de Aviação Civil) (2020), o deslizamento em estradas molhadas, mas não poluídas com neve ou gelo, depende de fatores como a velocidade do avião, pressão dos pneus e aspereza do revestimento.

O *Instrument de Mesure Automatique de la Glissance* - IMAG (Instrumento de Medição Automática de Derrapagem) é um equipamento desenvolvido para medir automaticamente a aderência em pavimentos aeroviários, mostrado na Figura 9. Ele é o resultado da cooperação entre o Departamento Francês de Aviação Civil e a *Aéroports de Paris* (Empresa que controla os aeroportos de Paris).

Figura 9 - Equipamento de medição do atrito na França



Fonte: Disponível em: <http://www.vectra-esteio.com.br/imagem/Imagem%20formatada.jpg> Acesso em: 24 out. 2020.

A medição contínua do torque de frenagem e da carga aplicada à roda de medição permite a conversão automática em um coeficiente de atrito. A aderência é considerada aceitável, quando, de acordo com a velocidade de movimento do IMAG, o coeficiente de atrito longitudinal for maior ou igual a 0,30 a 65 km/h e 0,20 a 95 km/h.

Por fim, no que se refere ao IMAG, que também é utilizado, sem ancoragem artificial, num quadro operacional em condições de inverno (presença de neve, degelo), para informar os pilotos sobre o estado da superfície de uma pista imediatamente antes do pouso e decolagem. O IMAG também pode quantificar a presença de contaminantes espessos na estrada, indicando uma espessura de água equivalente.

Em Portugal, por ser membro da ICAO, juntamente com o Brasil, utilizam os mesmos equipamentos e parâmetros para análise do atrito em aeródromos, *Grip Tester*, como mostrado anteriormente. Os valores estabelecidos para cada um dos níveis de atrito são para cada tipo de equipamento de medição de atrito contínuo. Estes valores são verificados para as duas velocidades de realização do ensaio: 65km/h e 95km/h.

Ainda sobre Portugal, outro equipamento comum para medição é o *Airport Surface Friction Tester* – ASTF (Testador de Atrito de Superfície de Aeroporto) consiste num veículo automóvel modificado que efetua a medição contínua do coeficiente de atrito que é realizada por uma quinta roda instalada no eixo traseiro como mostrado na Figura 10.

Figura 10 - ASFT



Fonte: Disponível em: https://www.airport-technology.com/contractors/apron_clean/asft-swiss/asft-swiss4
Acesso em: 24 out. 2020.

Possuem um sistema de espargimento que permite a aplicação de uma lâmina de água de espessura média de 1mm. As velocidades de ensaio mais usuais são de 95 km/h. As informações obtidas são registadas e processadas por um computador portátil de bordo.

Pode-se observar pela Tabela 5 que os parâmetros de medição de atrito consideráveis Muito Bom estão definidos para maior que 0,82 e maior que 0,74 considerando as respectivas velocidades do equipamento de 65km/h e 95km/h.

Tabela 5 - Patamares de atrito dos diferentes equipamentos

Atrito	ASFT		Grip Tester	
	65 km/h	95 km/h	65 km/h	95 km/h
Mau	< 0,5	< 0,34	< 0,43	< 0,24
Médio	0,50 - 0,59	0,34 - 0,46	0,43 - 0,52	0,24 - 0,35
Bom	0,60 - 0,82	0,47 - 0,74	0,53 - 0,74	0,36 - 0,64
Muito Bom	> 0,82	> 0,74	> 0,74	> 0,64

Fonte: Adaptado de RAMALHO (2013).

Assim como no Brasil, o equipamento para aferir o atrito em aeródromos mais comum nos Estados Unidos é o *Mu-meter Trailer*, dispositivo homologado pela FAA, assim como outros 10 equipamentos de diferentes fabricantes. A velocidade do aparelho pode ser ajustável, porém, as velocidades padronizadas pela ICAO são 65 km/h e 95 km/h.

As rodas laterais possuem eixos que se ligam a uma célula de carga, a qual mede a força de tensão lateral resultante da tendência de movimento desalinhado das rodas inclinadas. O equipamento é composto também por um sistema que dispersa

água, deixando na superfície uma película de aproximadamente 1 milímetro de espessura à frente das rodas sensoras.

As informações medidas são transmitidas para um computador no interior do veículo de reboque e processadas para a apresentação do coeficiente de atrito. A ANAC define que valores como 0,50 deve ser tomada como nível de manutenção. Por outro lado, a ICAO, para uma velocidade de 65 km/h, define que seu nível de manutenção é de 0,52 e o nível mínimo admissível é de 0,42. Para uma velocidade de 95 km/h, os níveis de manutenção e mínimo admissível são respectivamente: 0,38 e 0,26.

No Canadá, assim como em Portugal, o ASFT é usado como o dispositivo de medição de atrito de referência com a finalidade de definir o coeficiente de pista padrão de níveis de atrito contra o qual todas as outras medições de atrito são avaliadas para determinar a necessidade de ação de manutenção corretiva.

Quando um dispositivo de medição de atrito contínuo diferente do ASFT é usado, a correlação do dispositivo será necessária para garantir que o dispositivo alternativo produza medições de atrito comparáveis àquelas que seriam obtidas com o ASFT. O operador do dispositivo tem a responsabilidade de correlacionar um dispositivo de medição de fricção alternativo ao ASFT. Em casos de discrepância entre as medições feitas com o ASFT e qualquer outro dispositivo de teste de atrito, as informações obtidas pelo ASFT prevalecerão.

Nessas condições, no Canadá, a ação de manutenção corretiva é realizada quando o coeficiente de atrito é inferior a 0,50 ou quaisquer porções de uma superfície de pista com 100 m ou mais de comprimento têm um índice menor que 0,30.

4.1.2 Irregularidade Longitudinal

No Brasil, a Irregularidade longitudinal é aferida através do perfilômetro a laser. Esse equipamento é instalado em um veículo, que geralmente é um automóvel, com sensores na parte frontal ou em reboque. O rastreamento do perfil do pavimento é feito através do armazenando das mudanças súbitas de elevação na superfície da pista aeroportuária. A ANAC define que o índice de irregularidade longitudinal do pavimento, segundo a escala internacional de irregularidade, deve ser igual ou inferior a 2,5 m/km, reportado a cada 200m. Na Figura 11 tem-se o equipamento para aferir a irregularidade longitudinal.

Figura 11 - Perfilômetro a laser utilizado no monitoramento



Fonte: NASCIMENTO e ALBUQUERQUE (2019).

Em Portugal, a avaliação regulamentada pela ANAC da irregularidade dos pavimentos flexíveis aeroportuário tem sido realizada com recurso de diferentes equipamentos, os quais utilizam metodologias de medição e princípios de medida distintos, sendo assim: equipamentos baseados na resposta dinâmica de um veículo, equipamentos de referência geométrica simples e equipamentos baseados na obtenção da imagem do perfil do aeródromo. Visto que a eficiência e viabilidade obtida pelos três tipos de equipamentos mencionados, são nos equipamentos baseados na obtenção de uma imagem do perfil do pavimento, sendo assim o Perfilômetro a laser o mais utilizado.

A irregularidade longitudinal é medida, em Portugal, em três diferentes níveis de exigência. Primeiro é o valor de projeto, seguido do valor máximo admissível e por fim o valor máximo temporariamente admissível. O valor de projeto aplica-se apenas a pistas reconstruídas ou novas, os demais são para pistas que já estão em uso.

Os valores máximos admitidos variam de acordo com a extensão da irregularidade e conforme o seu caráter de permanência no tempo. Consideram-se aceitáveis irregularidades da ordem dos 2,5cm a 3cm em extensões de até 45m.

Considerando superfícies novas ou reconstruídas, o índice é dito a nível de projeto quando o critério de aceitação obriga a uma regularidade de forma que permita que, quando apoiada numa régua de 3m, em qualquer local da pista e em qualquer

direção, não visualizem-se nenhum desvio entre a base da régua e a superfície do pavimento, superior a 3mm. O próximo nível de exigência é dito máximo admissível, em que o máximo valor de irregularidade, segundo a extensão na qual se manifesta, que se admite para uma situação que permaneça no tempo. Estes valores são os dispostos na Tabela 6.

O último nível de exigência da irregularidade longitudinal é dito como máximo temporariamente admissível. Segundo a extensão na qual se manifesta, que se admite para uma situação temporária. Entendem-se como temporárias situações que não perdurem mais do que três meses. Estes valores são os dispostos na Tabela 6.

Tabela 6 - Níveis de irregularidade

	Extensão da irregularidade (m)								
	3	6	9	12	15	20	30	45	60
Irregularidade vertical máxima admitida (cm)	3	3,5	5	5	5,5	6	6,5	8	10
Irregularidade vertical máxima temporária (cm)	3,5	5,5	6,5	7,5	8	9	11	13	15

Fonte: Manual sobre Condição Funcional: atrito, textura, irregularidade e limpeza- ANAC (2020).

O *Present Serviceability Rating* – PSR (Classificação de Capacidade de Manutenção Atual) é um conceito de qualidade do pavimento que foi definido pela *American Association of State Highway Officials* - AASHO. Este conceito expressa o que os usuários pensam do pavimento. Os utilizadores percorrem a pista e classificam a qualidade da via usando uma escala quantitativa expressa no Gráfico 11. Este conceito de qualidade do pavimento, na generalidade, reflete muito bem a irregularidade, na medida em que a irregularidade é fortemente determinante e afeta o conforto da circulação, que é aquilo que os utilizadores avaliam com a aplicação do método.

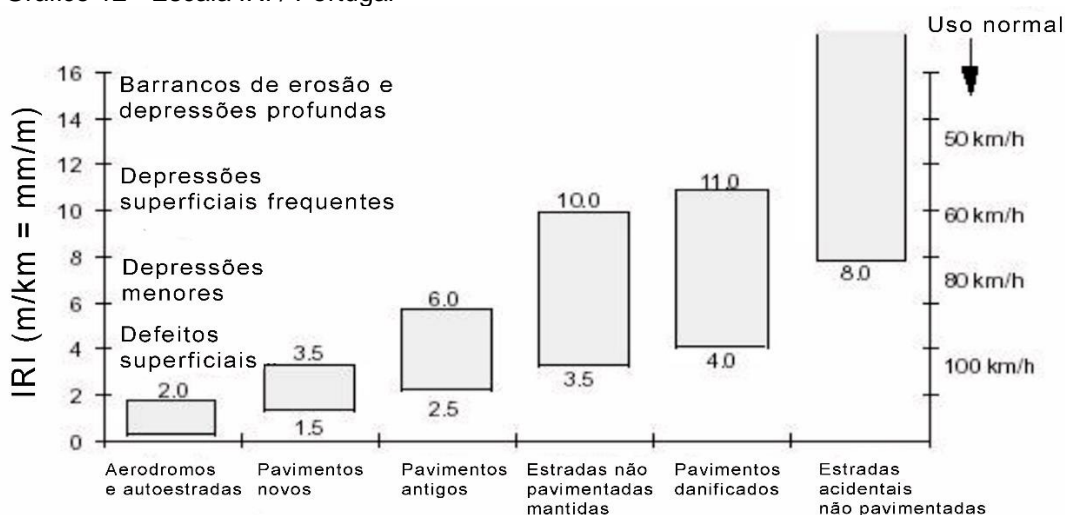
Gráfico 11 - Boletim de avaliação PSR

Aceitável?		5		Muito Bom
		4		Bom
Sim	<div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 20px; margin: 5px;"></div>	3		Regular
Não		2		Ruim
Indeciso		1		Muito Ruim
		0		
Identificação de Seleção _____		Avaliação		
Avaliador _____		Encontro _____		
		Tempo _____		
		Veículo _____		

Fonte: Adaptado do Manual sobre Condição Funcional: atrito, textura, irregularidade e limpeza- ANAC (2020).

Outro parâmetro para avaliação da irregularidade longitudinal é através da escala IRI para aeródromos apenas admite um valor e é apresentada no Gráfico 11. Este parâmetro apenas permite a detecção de irregularidades com comprimentos de onda curtos. Dessa forma, para aeródromos, o índice considerado para uso é de 2m/km.

Gráfico 12 - Escala IRI / Portugal



Fonte: Adaptado do Manual sobre Condição Funcional: atrito, textura, irregularidade e limpeza- ANAC (2020).

Nos Estados Unidos, para identificar a irregularidade da superfície dos pavimentos aeroportuários a FAA e a *Boeing Company* desenvolveram o *Boeing Bump Index* – BBI, índice de irregularidade longitudinal que avalia a qualidade de

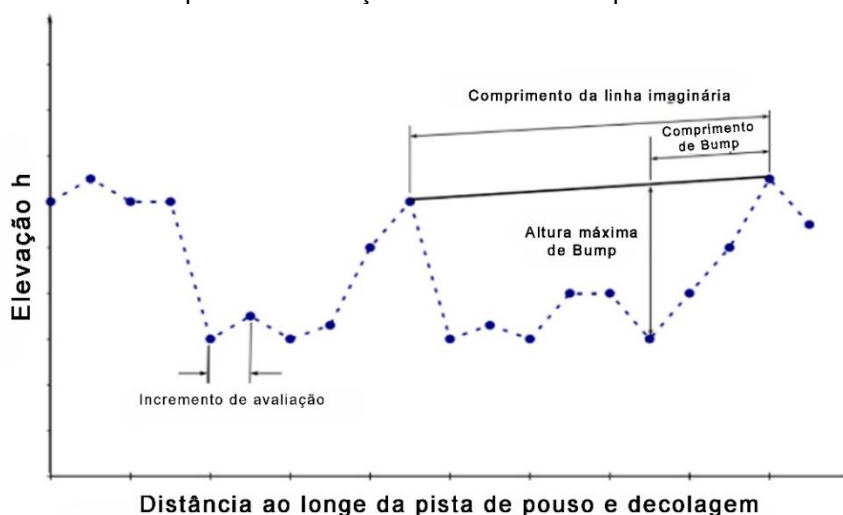
rolamento das aeronaves. O parâmetro objetiva orientar a avaliação da superfície do pavimento de modo a identificar potenciais eventos isolados de desvios verticais chamados *Bumps*, que podem afetar aos equipamentos das aeronaves e as operações aéreas.

A metodologia do BBI categoriza um *bump* como aceitável, excessivo ou inaceitável com base na amplitude e no comprimento de onda do mesmo, considerando aeronaves a jato totalmente carregadas operando em pistas de pouso e decolagem a velocidades de 240 a 370 km/h.

Segundo Durán (2015), o BBI é o método baseado na construção de uma linha imaginária entre dois pontos sobre o perfil de elevação longitudinal de uma pista de pouso e decolagem e na medição do desvio desta linha imaginária com relação à superfície do pavimento. O princípio considera a “altura de *bump*” como o desvio máximo, podendo ele ser positivo ou negativo, medido a partir da linha imaginária até a superfície do pavimento.

O comprimento de *bump*, por sua vez, é definido como a distância mais curta desde qualquer extremidade da linha imaginária até o ponto que o *bump* é medido, como mostrado no Gráfico 12. São consideradas linhas imaginárias, ditas comprimento de onda, de até 120 metros. Pesquisas feitas pela empresa *Boeing* têm demonstrado que comprimentos de onda, *bumps*, mostrado no Gráfico 13, maiores que 120 metros não contribuem com uma resposta dinâmica por parte da aeronave e não afetam negativamente a mesma.

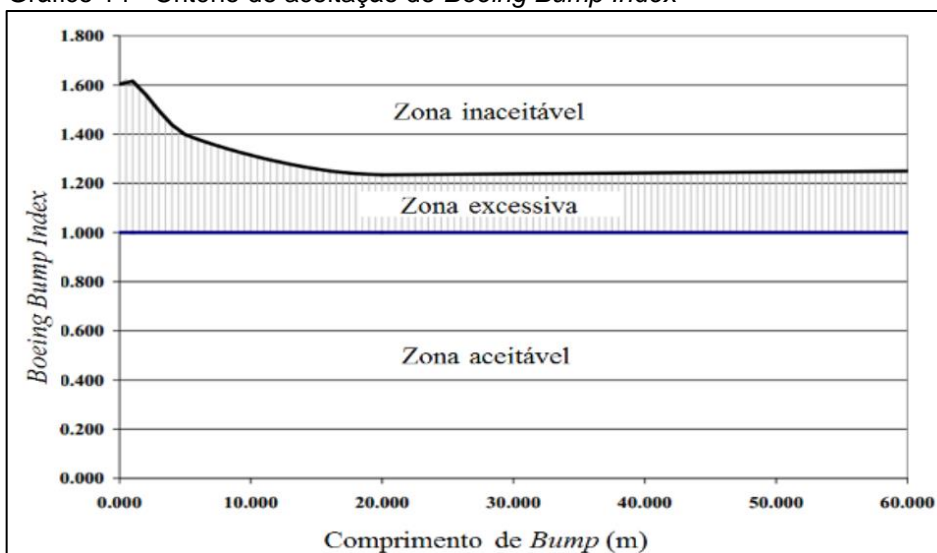
Gráfico 13 - Esquema de medição da altura de Bump



Fonte: Adaptada de FAA (2009)

A separação mínima ou incremento de avaliação entre os pontos deve ser igual a 0,25 m, assim o comprimento mínimo da linha imaginária será de 0,5 m. Se o BBI calculado for inferior a 1 a irregularidade da superfície está dentro da zona aceitável, se for maior do que 1 está dentro da zona excessiva ou inaceitável como indicado no Gráfico 14.

Gráfico 14 - Critério de aceitação do *Boeing Bump Index*



Fonte: Adaptada de FAA (2009).

Assim como no Brasil, a irregularidade longitudinal em aeródromos feita nos Estados Unidos também pode ser medida através de perfilômetro a laser. Os parâmetros seguem os mesmos já visto para o Brasil.

Na França, o Analisador de Perfil Longitudinal – APL, foi desenvolvido pelo *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* – LCPC como um equipamento rebocável de uma roda só, capaz de gerar como resultado a influência do perfil longitudinal do pavimento sobre o equipamento como mostrado na Figura 12.

Figura 12 - Analisador de perfil longitudinal



Fonte: Disponível em: <https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/fr/publications/chaussees-aeronautiques>. Acesso em: 20 out. 2020.

O equipamento também é utilizado em rodovias, mas com relação aos índices, são adotados valores distintos devido à diferença de carga que atuam no aeródromo. Assim, levando em consideração as configurações de trem de pouso e velocidades praticadas por aeronave durante as fases de colagem e pouso, comprimentos de falha mais importante que vão até 100m podem ser prejudiciais para boa trajetória das aeronaves. A avaliação da qualidade é baseada em um sistema de classificação por bandas de ondas em uma escala de 0 a 10, onde o valor mais baixo representa um resultado muito ruim e 10 bandas de onde, um resultado excelente.

No Canadá, é comum o uso dos perfilômetros a laser pois são capazes de fazer uma filtragem de alta precisão resultando na redução de erros de mudança de graus e de frenagem e aceleração do veículo de teste. A análise de Altura x Comprimento do relevo, definido como *Método Boeing Bump*, pode ser usado para identificar saliências e depressões isoladas. O equipamento coleta os dados e define os parâmetros através do método.

Outro índice canadense usado para avaliar a rugosidade do pavimento do aeroporto é chamado de *Riding Comfort Index - RCI*. O parâmetro é um método subjetivo de classificação da rugosidade de um pavimento em uma escala de 0 a 10. Durante a condução do equipamento, com um resultado obtido de 0, representa uma qualidade de condução muito ruim e para um RCI de magnitude de 10, representa uma qualidade de condução muito boa.

O índice, no entanto, não indica a presença de solavancos individuais de magnitude excessiva, pois a aeronave responde a irregularidades de perfil de comprimento de onda mais longo que não afetam o percurso do automóvel. Embora o RCI represente uma medida subjetiva da qualidade do pavimento aeroportuário, ao andar de automóvel, o índice informa uma indicação geral do nível médio de rugosidade do pavimento utilizado pelo piloto. A Tabela 7 mostra os valores para o índice RCI de aeronaves com motoro turbojato e não turbojato para quando deve-se tomar uma ação planejada ou tomada.

Tabela 7 - Diretrizes históricas de rugosidade da pista com base no RCI

Diretrizes de restauração histórica	Quando a média da pista "RCI" é menor que	
	Tráfego de turbojato	Tráfego não turbojato
Ação Corretiva Planejada	5	4
Ação Corretiva Tomada	4	3

Fonte: Disponível em: <https://tc.canada.ca/en/aviation/reference-centre/advisory-circulars/advisory-circular-ac-no-302-023#s6_2> Acesso em: 20 de outubro 2020.

4.1.3 Macrotextura

No Brasil, os parâmetros funcionais são regulamentados pela ANAC e seguem as diretrizes da RBAC nº 153, emenda nº 4. No que diz respeito à macrotextura, a medição é feita conforme ensaio volumétrico tipo mancha de areia. O operador de aeródromo deve manter a profundidade média da macrotextura maior ou igual a 0,60 mm para a pista de pouso e decolagem em operação.

Para valores abaixo do previsto, deve-se enviar um relatório de medição para que o órgão responsável possa ser tomada as devidas orientações. É importante garantir a devida abertura da macrotextura pois dessa forma a drenagem correta do aeródromo não compromete a segurança operacional. Valores abaixo de 0,40 mm são classificados como macrotextura que precisam de manutenção.

Em Portugal, de acordo com a ANAC, a macrotextura tem formas diretas de medição. Existe também uma forma indireta, através dos resultados das medições do coeficiente de atrito às velocidades mais reduzidas, embora esses valores sejam dependentes da contaminação e da drenagem da superfície. Dessa forma, é necessária a medição direta desse valor, podendo recorrer-se à técnica volumétrica da mancha de areia.

A técnica consiste no espalhamento circular de um volume pré definido de areia normalizada, ou de microesferas de vidro, no pavimento previamente limpo. A areia é espalhada com a ajuda de um disco normalizado, com uma superfície de espalhamento em borracha dura. Após o perfeito espalhamento da areia medem-se quatro diâmetros igualmente espaçados ao longo da circunferência, com os quais se calcula um diâmetro médio para esse ponto. A profundidade média da macrotextura, em milímetros é definida como *Mean Texture Depth* - MDT.

De acordo com os valores obtidos para o MDT, é recomendado ações distintas. Dessa forma, para MTD menor que 1,14mm, é orientado conduzir ensaios de técnica volumétrica quando obrigatório. Quando os resultados obtidos estão entre 0,40mm e 0,76mm, recomenda-se ativar um plano de manutenção que permita a correção dos valores da macrotextura, a qual deve estar conforme num prazo não superior a um ano. Por fim, se o MTD for um valor a baixo de 0,25mm o orientado pela ANAC é corrigir o problema da macrotextura num prazo máximo de 2 meses.

As ações corretivas, caso a profundidade da macrotextura seja insuficiente, incidem sobre os locais afetados e passam por operações de limpeza e/ou texturização do pavimento, de forma a obter valores da macrotextura superiores a 0,76mm.

Nos Estados Unidos, o método utilizado para aferir a macrotextura segue o procedimento muito similar ao do ensaio de mancha de areia, como mostrado na Figura 13, porém existem uma principal diferença que é a utilização da graxa no lugar da areia. O método definido como mancha de graxa, determina a macrotextura da superfície do pavimento medindo a distância média entre os picos e vales na textura do pavimento.

Figura 13 - Ensaio de Mancha de Graxa



Fonte: WAMBOLD E HENRY (2002).

A FAA determina que, para pavimentos recém-construídos, a profundidade de textura média recomendada para fornecer bom resistência à derrapagem deve ser de 1,14 mm. Um valor menor indica deficiência na macrotextura que irá requerem correção conforme a superfície se desgasta.

Já para pavimentos existentes, existem três situações que se deve considerar. Quando a profundidade de macrotextura média em uma zona de pista for abaixo de 1,14 mm, o operador do aeródromo deve realizar medições da profundidade da textura cada vez que houver medição do atrito da pista. Quando a profundidade de macrotextura estiver entre 0,40 mm e 0,76 mm, deve-se iniciar a ação para corrigir o pavimento com deficiência, dentro do período de um ano. Quando a profundidade de textura média medição em uma zona de pista estiver abaixo de 0,25 mm, o operador deve corrigir a deficiência do pavimento em até 2 meses.

Na França, o índice usado para medir a macrotextura do pavimento dos aeroportos é dito como Profundidade de Textura Média – PTM. Os parâmetros são normatizados pela STAC e exige resultados mínimos para que aeródromo esteja em condições de uso.

O método E965-96 é nomeado como: “Teste Padrão para Medir a Profundidade de Macrotextura do Pavimento usando uma Técnica Volumétrica” e

padronizado pela ASTM baseia-se na utilização de pérolas de vidro de tamanho muito específico para espalhar no revestimento.

O método para medir a profundidade média da textura é realizado com base em um determinado volume de material de granulação fina que é espalhado sobre uma superfície usando uma almofada de borracha de modo a formar um ponto aproximadamente circular, cujo diâmetro médio é medido para obter dividindo o volume de material pela área coberta, a profundidade média da camada, ou seja, a profundidade de textura média.

O teste de mancha de areia era então o método tradicional usado para descrever este ensaio que tem sido usado em todo o mundo por muitas décadas. A areia não é mais usada atualmente, pois o vidro oferece melhor reprodutibilidade. Embora menos comuns, outros materiais também têm sido usados, por exemplo, massa ou graxa. A Tabela 8 mostra os valores mínimo e máximo exigidos pela STAC para macrotextura

Tabela 8 - Valores da profundidade média da textura - PMT

	Índices exigidos pela STAC (em mm)	
	Mínimo	Máximo
Concreto asfáltico aeronáutico	0,4	0,6

Fonte: Adaptado de Misturas e revestimentos de hidrocarbonetos superficial para pavimentos aeronáuticos (2009).

Para o Canadá, os critérios de avaliação da macrotextura dos pavimentos aeroportuários seguem os mesmos usados no Estados Unidos. Determinados pela FAA, o ensaio é a mancha de graxa e definido pelos parâmetros da Tabela 9.

Tabela 9 - Parâmetros de macrotextura no Canadá

Característica	Profundidade macrotextura em mm
Pavimento recém-construído	$\geq 1,14$
Realizar medições da profundidade da textura cada vez que houver medição do atrito da pista	Entre 1,14 e 0,76
Ação para corrigir o pavimento com deficiência	Entre 0,76 e 0,40
Corrigir a deficiência do pavimento	$< 0,25$

Fonte: Adaptado de https://www.faa.gov/airports/resources/advisory_circulars/index.cfm/go/document.current/documentNumber/150_5320-12>. Acesso em: 3 nov. 2020.

4.1.4 Pavement Conditions Index - PCI

De acordo com Durán (2015), o PCI é um índice numérico qualitativo que varia de 0 para pavimentos completamente ruins a 100 para pavimentos em perfeitas condições. A finalidade do PCI é medir a condição de um pavimento e a operacionalidade da sua superfície, com base nos resultados de uma avaliação visual da condição do pavimento. A avaliação visual objetiva identificar o tipo de defeito, sua severidade e sua quantidade, assim como as causas adjacentes que provocaram sua formação. O grau de deterioração de um pavimento está em função do tipo, severidade e densidade de cada um dos defeitos, como identificado na Tabela 10. A metodologia utilizada para o cálculo do PCI é descrita nos itens seguintes e segue rigorosamente a norma D 5340-12 da ASTM.

Tabela 10 - Sistema de classificação do PCI

Escala de Classificação padrão FAA	Classificação qualitativa	Descrição
86-100	Muito Bom	Pavimento novo ou com poucos ou nenhum defeito de baixa severidade
71-85	Bom	Alguns defeitos são de baixa e média severidade
56-70	Regular	Alguns defeitos são de média e alta severidade
41-55	Ruim	Defeitos de severidade alta com risco de ocasionar problemas operacionais
26-40	Muito Ruim	Vários defeitos de severidade alta ocasionando consideráveis problemas operacionais
11-25	Péssimo	Muitos defeitos de severidade alta originam restrições operacionais
0-10	Destruído	A deterioração de pavimento impede a segurança nas operações das aeronaves

Fonte: Adaptado de ACRP (2011).

Para esse tipo de avaliação é válido levar em consideração alguns critérios pois a análise é objetiva e demorada. Como desvantagens do método, Wang *et al.* (2010), cita os seguintes pontos:

- a) A avaliação visual deve ser feita durante o dia para identificar os defeitos superficiais, isto significa que o tráfego precisa ser interrompido durante a avaliação;
- b) Erros humanos fazem parte do sistema, uma vez que o índice de classificação é de natureza subjetiva;
- c) A avaliação é demorada;

- d) Também há variações significativas na consistência e repetibilidade dos resultados.

Apesar do PCI ser um índice internacional, no Brasil ele é utilizado, porém não é normatizado pela ANAC. Somente na França o índice não é aplicado como avaliação do aeródromo.

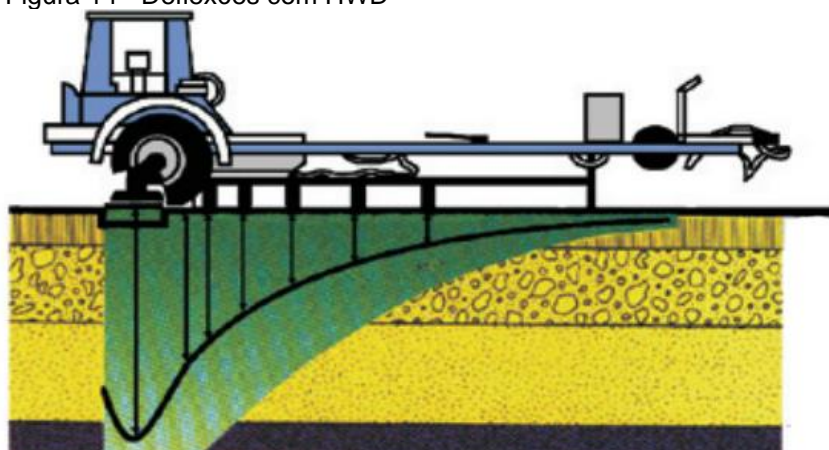
4.2 Avaliação Estrutural

O equipamento de medição de deflexão para teste não destrutivo de aeródromos pode ser amplamente classificado como dispositivo de carregamento estático ou dinâmico. O equipamento classificado como dinâmico pode ser ainda de acordo com o tipo de função de força usada, ou seja, dispositivo vibratório ou de impulso.

O *Heavy Weight Deflectometer* (HWD) é mundialmente conhecido como um equipamento altamente eficiente na avaliação da capacidade de cargas de pavimentos rígidos e flexíveis em estradas e aeroportos. Similar, mas com capacidade de carga muito maior que o *Falling Weight Deflectometer* (FWD), o HWD é recomendado para uso em aeródromos e os países em estudo, Brasil, Portugal, França, Estados Unidos e Canadá, usam o equipamento para medir a deflexão do aeródromo.

Desenvolvido pela *Dynatest International*, o princípio do *HWD* consiste em aplicar uma carga sobre o pavimento simulando o peso da roda de uma aeronave. A carga é aplicada sobre uma placa apoiada no pavimento, que estuda os deslocamentos verticais sofridos pela superfície do pavimento como resultado deste carregamento dinâmico – as chamadas deflexões, mostrado na Figura 14.

Figura 14 - Deflexões com HWD



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

Com a utilização do HWD, as deflexões são continuamente registradas durante os testes por meio de geofones aplicados abaixo da placa de carga. Os dados obtidos através de *software* são então utilizados para determinar as propriedades estruturais do pavimento e do projeto de revestimento com base em análises empíricas. Dessa forma, identificam-se as possíveis falhas do pavimento e as melhores alternativas de restauração.

O monitoramento automatizado e em tempo real da célula de carga, geofones e variações de dados garante alta qualidade dos dados coletados. O HWD, mostrado na Figura 15, permite aplicar cargas de 30 a 320 kN, permitindo simular cargas desde veículos menores a aeronaves robustas como o Boeing 777, Airbus 340 ou 380.

Figura 15 - Equipamento HWD



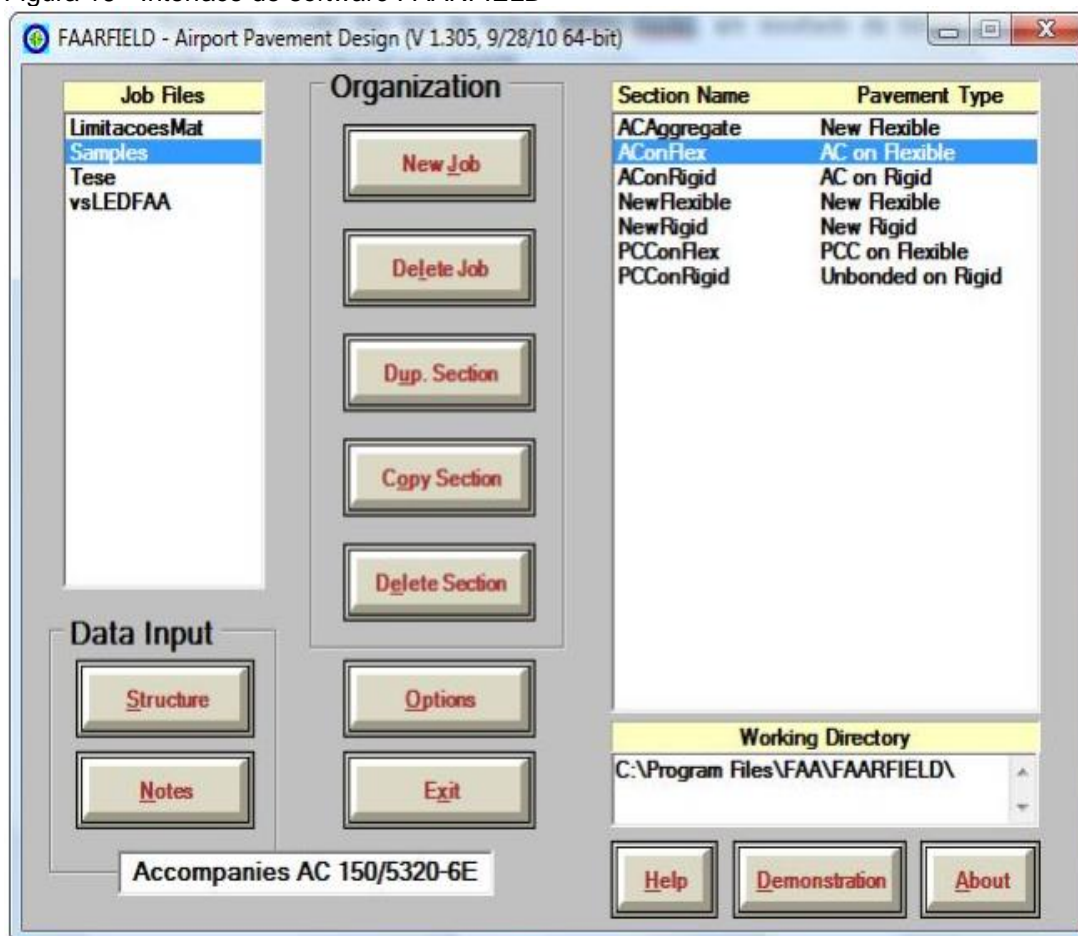
Fonte: Dynatest Dynatest.com.br. Disponível em: <<http://dynatest.com.br/voce-sabia-que-a-maioria-dos-servicos-prestados-pela-dynatest-em-aeroportos-e-realizada-no-periodo-noturno/>>. Acesso em: 8 nov. 2020.

O equipamento faz a coleta dos dados e através de *softwares*, os dados são analisados para servir como uma das referências que define a análise estrutural do aeródromo. Foi dado, para esse trabalho, destaque para o programa *FAARFIELD*. De acordo com Vieira (2015), existem uma multiplicidade de métodos de dimensionamento de pavimentos aeroportuários, com maior ou menor divulgação e

aceitabilidade em cada país. Além disso, há uma tendência crescente na implantação do software FAARFIELD.

O método de dimensionamento de pavimentos aeroportuários adotado pela FAA surgiu em 2009, consistindo na utilização do *software Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design - FAARFIELD*, que, similarmente, efetua o cálculo automático das espessuras das diferentes camadas que compõem os pavimentos e da vida residual estrutural dos mesmos. Na Figura 16 é ilustrado o layout do programa.

Figura 16 - Interface do *software* FAARFIELD



Fonte: VIEIRA (2015).

A Tabela 11 mostra as entradas que são necessárias para o perfil de uma estrutura típica de pavimentação e projeto de aeroporto conforme referenciado em AC 150 / 5320-6. Uma vez que os valores baseados em testes não destrutíveis são estatisticamente selecionados para avaliação e projeto do pavimento, eles podem ser usados diretamente conforme descrito nos AC's.

Tabela 11 - Valores de módulo permitidos para o *FAARFIELD*

Tipo de camada	Camada especificada pela FAA	Pavimento rígido	Pavimento Flexível
Superfície	Concreto de cimento Portland	30.000 Mpa	n/d
	Asfalto	n/d	1.400 Mpa
Base estabilizada e Sub-base	Asfalto	3.000 Mpa	
Base granular e Sub-base	Agregado triturado	500 Mpa	
	Agregado não triturado	300 Mpa	
Subgrade	Subgrade	Entre 7 e 350 Mpa	












Fonte: Adaptador de AC 150/5370 (2011).

Os resultados da análise de testes não destrutíveis podem ajudar o engenheiro na seleção de valores para 10 das 15 entradas que são necessárias para o uso do programa. Os valores dos módulos elásticos desenvolvidos pelos testes não destrutíveis podem ser usados em camadas variáveis com o pavimento de estrutura típica e seção de design sujeita aos intervalos permitidos com o programa *FAARFIELD*, conforme necessário para garantir resultados razoáveis.

Por fim, foi apresentado no quadro os resultados do trabalho, no qual foi exposto no Quadros 3 os índices para a avaliação funcional e estrutural. O quadro mostra os índices mais significativos adotados para Brasil, Estados Unidos, França, Portugal e Canadá. É importante ressaltar que a norma que determina o ensaio para o atrito, define que é preciso obter valores para duas velocidades distintas, essas são 65Km/h e 95Km/h.

Assim como os índices, foram expostos os equipamentos/ensaios mais comuns adotados para obtenção dos parâmetros. Foi indicado no quadro também os parâmetros que não são aplicados e/ou não normatizado, no caso, para valores do PCI, na França o parâmetro não é utilizado.

Quadro 3 - Resumo dos índices de avaliação funcional e estrutural.

		BRASIL		ESTADOS UNIDOS	FRANÇA	PORTUGAL	CANADÁ
		Avaliação Funcional		Atrito			
65 Km/h	0,42 (Mínimo)			0,52 (Manutenção)	0,3	entre 0,5 e 0,59	0,5 (Manutenção)
		95 Km/h					
		0,26 (Mínimo)	0,38 (Manutenção)	0,2	entre 0,34 e 0,46	0,3 (Mínimo)	
		Equipamento		 Mu-meter Trailer	 IMAG	 ASFT	
		Macrotextura		0,6 (Admissível)	< 1,14 mm (ensaio) entre 0,40 e 0,76 mm (manutenção)	0,4 mm (mínimo)	< 1,14 mm (ensaio) entre 0,40 e 0,76 mm (manutenção)
		Ensaio		 Mancha de areia	 Mancha de graxa	 Mancha de areia	 Mancha de graxa
		Irregularidade Longitudinal		≤ 2,5 m/km (a cada 200m)	1	Entre 0 e 10	2 m/km
		Equipamento		 Perfilômetro a laser	 Analisador de Perfil Longitudinal	 Perfilômetro a laser	
		PCI		Entre 0 e 100 Não normatizado na ANAC	Entre 0 e 100	Não utilizado	Entre 0 e 100
Avaliação Estrutural		HWD		Superficial		1.400 Mpa	
				Base estabilizada e Sub-base		3.000 Mpa	
				Base granular e Sub-base (Agregado triturado)		500 Mpa	
				Subgrade		Entre 7 e 350 Mpa	
				Equipamento		 Heavy Weight Deflectometer	

Fonte: Elabora pelo autor (2020).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou a comparação entre os parâmetros de avaliação estrutural, sendo o HWD e funcional sendo o atrito, macrotextura, irregularidade longitudinal e PCI no Brasil, Estados Unidos, Portugal, França e Canadá. Foi possível expor os equipamentos que são usados para obtenção de cada parâmetro em cada país definido no presente trabalho. Além disso, foram apresentados os índices mais significativos.

Com base no que foi exposto, o trabalho seguiu as metas apresentadas para cada etapa verificando os valores adotados seguindo as normas específicas para cada país. É importante ressaltar que para este trabalho foram adotados alguns dos vários parâmetros que são usados para avaliar o aeródromo assim como para os equipamentos, foram abordados os mais comuns.

É válido ressaltar que existem outros índices e equipamentos usados para avaliar funcionalmente e estruturalmente os aeródromos, porém, devido a indisponibilidade de recursos causados pelas diferenças geográficas, econômicas e tecnológicas, não são todos os países que adotam os mesmos parâmetros e dispositivos.

Mesmo que alguns índices sejam os mesmos para determinadas regiões, existem países que possuem valores numérico de avaliação distintos para os aeródromos e é possível observar que esses índices possuem valores aproximados. Mesmo com a utilização de equipamentos, em alguns casos, diferentes, os resultados possuem uma aproximação bastante significativa. Nesse sentido, o trabalho permitiu que os parâmetros de avaliação dos pavimentos aeroportuários sejam expostos e confrontados entre si.

Desta forma, para trabalhos futuros, considera-se válido expandir o número de países analisados, comparar e explorar mais índices, sobretudo, os de avaliação estrutural e dimensionamento de pavimentos aeroportuários comparando as diversas metodologias utilizadas.

REFERÊNCIAS

AC 150/5320-12C - Measurement, Construction, and Maintenance of Skid Resistant Airport Pavement Surfaces – Document Information. Faa.gov.

Disponível em:

<https://www.faa.gov/airports/resources/advisory_circulars/index.cfm/go/document.current/documentNumber/150_5320-12>. Acesso em: 3 nov. 2020.

ACRP (2011). **Common Airport Pavement Maintenance Practices.** Airport Cooperative Research Program – Synthesis 22. Transportation Research Board & Federal Aviation Administration. Washington, DC.

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil - RBAC 153 - Emenda 04. AERÓDROMOS - OPERAÇÃO, MANUTENÇÃO E RESPOSTA À EMERGÊNCIA, 14 de maio 2019c.

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil, Empresas aéreas brasileiras transportam 104,4 milhões de passageiros em 2019. Disponível em:

<<https://www.anac.gov.br/noticias/2020/empresas-aereas-brasileiras-transportam-104-4-milhoes-de-passageiros-em-2019>> Acesso em: 20 de maio 2020.

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil, REGULAMENTO BRASILEIRO DA AVIAÇÃO CIVIL nº01, 2017.

ANAC – Autoridade Nacional da Aviação Civil, Boletim Estatístico Trimestral N.º 44, 2019a.

ANAC – Autoridade Nacional da Aviação Civil, Manual sobre Condição Funcional: atrito, textura, irregularidade e limpeza, 2019. Disponível em:

<<https://www.anac.pt/vPT/Generico/AerodromosPistasUL/manuais/Paginas/manuais.aspx>> Acesso em: 19 de outubro 2020.

ANAC – Autoridade Nacional da Aviação Civil, Relatório relativo ao tráfego das principais companhias aéreas nacionais n.º 3 / 2010-2018, 2019b.

ANAC. **Relatório Brasileiro de Aviação Civil N° 153: Aeródromos – Operação, Manutenção e Resposta à Emergência**, 2012.

ASTM - Método de Teste Padrão para Pesquisas de Índice de Condições de Pavimentos Aeroportuários, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.

ASTM - Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys. **American Society of Testing Materials**, 2012.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração.** Oficina de Textos, 2015.

BARROS, R. L. - **Gestão da Conservação de Pavimentos de Aeroportos e Aeródromos**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2008.

BERNUCCI, L. B., MOTA, L. M. G., CERATI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobras. Abeda, 2010.

BTS - Bureau of Transportation Statistics, United States Department of Transportation - Flights, All Carriers - All Airports. Disponível em: <<https://www.bts.gov/topics/airlines-and-airports-0>> Acesso em: 09 de maio 2020.

CAC - *Canadian Airports Council*. Disponível em: <<https://canadasairports.ca/about-canadas-airports/economic-impacts/>> Acesso em: 20 de agosto 2020.

CAVA, Felipe. **Você conhece o Grooving utilizado em Rodovias e Aeroportos?** Além da Inércia. Disponível em: <<https://alemdainercia.com/2019/01/23/voce-conhece-o-grooving-utilizado-em-rodovias-e-aeroportos/>>. Acesso em: 26 Jan. 2021.

CENIPA - Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **CENIPA disponibiliza estatística de acidentes atualizada**. Disponível em: <https://www2.fab.mil.br/cenipa/index.php/slideshow/1461-cenipa-disponibiliza-estatistica-de-acidentes-atualizada> Acesso em: 20 de maio 2020.

CORDOVIL, R. M. Um programa de gerência de pavimentos para o comando da aeronáutica - Estudo de caso: Bases aéreas da região sul, Porto Alegre, RS. 2010.

DECEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Ministério da Defesa. DECEA promove 2º Fórum da Aviação Geral. 2020. Disponível em: <https://www.decea.gov.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=decea-promove-2o-forum-da-aviacao-geral>. Acesso em: 06 jun. 2020.

DIRENG - Diretoria de Engenharia da Aeronáutica. Levantamento de Dados de Aeroportos Brasileiros. Ministério da Aeronáutica. Brasília, DF, 1991.

Douangphachanh, V. e Oneyrna, H. - **Estimation of road roughness condition from smartphones under realistic settings**. Proceedings of the 13th International Conference on ITS Telecommunications (ITST): EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, pp. 433-439, 2014.

DSNA - Direction des Services de la Navigation Aérienne, Relatório De Atividade, 2019.

DURÁN, J.B.C. **Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários: Estudo de Caso no Aeroporto Estadual de Araraquara**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Transportes e Área de Concentração em Infra-Estrutura de Transporte, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2015.

FAA - FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, *Standardized method of reporting airport pavement strength – PCN*. Advisory Circular n. 150/5335-5B. Washington, DC, 2019.

FAA. **Airport Pavement Design and Evaluation**. Advisory Circular – AC 150/5320-6E. Federal Aviation Administration. United States Department of Transportation. Washington, DC, 2009.

FAA. **Guidelines and Procedures for Measuring Airfield Pavement Roughness**. Advisory Circular – AC 150/5380-9. Federal Aviation Administration. United States Department of Transportation. Washington, DC, 2009.

FERNANDES, C. I. C. S. H. **Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeroportuários – Caracterização e Aplicabilidade**. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, pág. 189, 2010.

FONSECA, O. A. - *Manutenção de Pavimentos de Aeroportos*. Diretoria de Engenharia da Aeronáutica. Divisão de Estudos e Projetos de Infra-Estrutura. Ministério da Aeronáutica. Brasília, DF, 1990.

FONSECA, O. A. *Airport Pavement Management Systems in Developing Countries Implementation Issues*. In: **Seminário sobre Sistemas de Gerência de Pavimentos**. Lima, 2003.

GOUVERNEMENT DU CANADA. **Aérodromes - Normes et pratiques recommandées**. 2014. Government of Canada. Disponível em <<http://www.tc.gc.ca/fra/aviationcivile/publications.htm>>. Acesso em: 01 abr. 2020.
Haas, R. e W. R. Hudson - **Pavement management system**, McGraw-Hill Book Company, New York, 1978.

HENRIQUE, Y. F. - *Método de Avaliação de Pavimentos Aeroportuários -Aplicação a um Aeródromo Militar – Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica*, 2013.

ICAO - *Manual de serviços de aeroportos*. Parte 2. *Estado de la superficie de los pavimentos*. Cuarta edición. Organización de Aviación Civil Internacional. Lima, Peru, 2002.

ICAO. **Manual de proyecto de aeródromos. Parte 3. Pavimentos**. Segunda edición. Organización de Aviación Civil Internacional. Lima, Peru, 1983.

INFRAERO. **Curso de Manutenção de Pavimentos Aeroportuários**. Apostila do Curso. Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária. Superintendência de Engenharia de Manutenção. Brasília, DF, 2005.

INFRAERO. Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária. **Anuário Estatístico Operacional**. Brasília, DF, 2019.

KAZDA, A. e CAVES, R. E. *Airport Design and Operation*. Ed. Pergamon. New York, NY, 2000.

MARCON, A. F. - Construção e gerência de pavimentos. Apostila da disciplina GTA 690, Universidade Federal de Ouro Preto, 2011.

MEDEIROS, Francisco Cesar de. As não-conformidades construtivas dos sistemas de pistas dos aeroportos brasileiros no que diz respeito às regras de segurança operacional. 2009.

MEDINA, J. e MOTTA, L. M. G., Mecânica dos pavimentos. 2ª Edição. Editora UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

MERIGHI, Livia Fortes. **Avaliação funcional de pavimentos asfálticos aeroportuários com a finalidade de estabelecer metas para sua manutenção.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2017.

NASCIMENTO, Rodrigo Almeida; ALBUQUERQUE, Fernando Silva. **MODELOS DE PREVISÃO DE IRREGULARIDADE LONGITUDINAL APÓS MANUTENÇÃO DE RODOVIAS.** Universidade Federal de Sergipe, 2019.

OLIVEIRA, F. H. L. Desenvolvimento de um modelo de gerenciamento de pavimentos aeroportuários como apoio à tomada de decisão sobre estratégias de manutenção e reabilitação. 178 f. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) –Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

OLIVEIRA, F.H.L. **Proposição de Estratégias de Manutenção de Pavimentos Aeroportuários Baseadas na Macrot textura e no Atrito: Estudo de Caso do Aeroporto Internacional de Fortaleza.** Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 178 pág, 2009.

RAMALHO, Rute Castro Lopo. Diretrizes para a avaliação funcional de pavimentos aeronáuticos. 2013.

RAMOS, Fábio Rangel Queiroz. **Aplicação de SMA (Stone Matrix Asphalt) em pavimentos aeroportuários - estudo de caso: aeroporto de Aracaju-SE.** 2015. Programa De Pós-Graduação em Geotecnia Mestrado em Engenharia Geotécnica / Pavimentos Ouro Preto / Mg – Fevereiro de 2015. Disponível em: <https://www.nugeo.ufop.br/teses-e-dissertacoes/104/aplicacao-de-sma-stone-matrix-asphalt-em-pavimentos-aeroportuarios-estudo-de-caso-aeroporto-de-aracaju-se> Acesso em: 20 maio 2020.

RODRIGUES FILHO, O. S. Características de aderência de revestimentos asfálticos aeroportuários - Estudo de caso do Aeroporto Internacional de São Paulo/ Congonhas. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

SILVA A. L. F. - **Pavimentos Aeroportuários: Análise de Soluções Rígidas e de Soluções Flexíveis.** Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade de Aveiro, Portugal, 2009.

SILVA, Evandro José da. **Análise dos padrões e recomendações da ICAO e da FAA para o projeto geométrico de aeródromos**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2012.

SOP - Superintendência de Obras Públicas, Movimentos de Aeronaves e Passageiros em 2019. Disponível em: <https://www.sop.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/30/2020/01/Movimenta%C3%A7%C3%A3o-Aeroportos-2019.pdf> Acesso em: 25/05/2020.

STAC - Service Technique de l'Aviation Civile. Chaussées aéronautiques. 2020. Disponível em: <https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/fr/chaussees-aeronautiques/adherence>. Acesso em: 24 set. 2020.

VIEIRA, Ricardo Amaral Cabral. **Dimensionamentos de Pavimentos Aeroportuários: A Consideração de Novas Orientações**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, Portugal. Disponível em: <https://docplayer.com.br/85212543-Dimensionamentos-de-pavimentos-aeroportuarios.html>. Acesso em: 02 dez. 2020.

WAMBOLD, J. C., HENRY, J. J. NASA Wallops Tie/Runway Friction: Workshops 1993- 2002. Transport Canada Publication no TP 14190E. Montreal, 2002.

WANG, H; AL-QADI, I.L. **Near-Surface Pavement Failure Under Multiaxial Stress State in Thick Asphalt Pavement**. In: Transportation Research Record. N° 2514. p.91-99., 2010.

White, G. - State of the art: Asphalt for airport pavement surfacing, International Journal of Pavement Research and Technology, 2018.

WOODSTROM, J. H. - "Measurements, specifications and achievement of smoothness for pavement construction" - National Cooperative Highway Research Program - Synthesis of Highway Practice 167 - Transportation Research Board - Washington - DC/USA – pág.34, 1990.