

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MAYKON DOUGLAS ROSÁRIO ROSA

**ELABORAÇÃO DE PISTAS EM PROJETOS DE
AERÓDROMOS E APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DA FAA
PARA O DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL
DO AEROPORTO DE CARGAS DE ANÁPOLIS**

ANÁPOLIS / GO

2018

MAYKON DOUGLAS ROSÁRIO ROSA

**ELABORAÇÃO DE PISTAS EM PROJETOS DE
AERÓDROMOS E APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DA FAA
PARA O DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL
DO AEROPORTO DE CARGAS DE ANÁPOLIS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADOR: FILIPE FONSECA GARCIA

ANÁPOLIS / GO: 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

ROSA, MAYKON DOUGLAS ROSÁRIO

Elaboração de pistas em projetos de aeródromos e aplicação dos métodos da FAA para o dimensionamento do pavimento flexível do Aeroporto de Cargas de Anápolis

81P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|-----------------|----------------------------------|
| 1. Aeródromo | 2. Pista de pouso e decolagem |
| 3. Pavimentação | 4. Dimensionamento |
| I. ENC/UNI | II. Bacharel em Engenharia Civil |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ROSA, Maykon Douglas Rosário. Elaboração de pistas em projetos de aeródromos e aplicação dos métodos da FAA para o dimensionamento do pavimento flexível do Aeroporto de Cargas de Anápolis. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 81p. 2018.

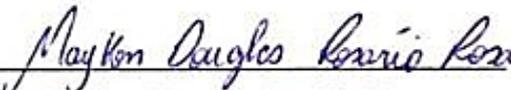
CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Maykon Douglas Rosário Rosa

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:
Elaboração de pistas em projetos de aeródromos e aplicação dos métodos da FAA para o dimensionamento do pavimento flexível do Aeroporto de Cargas de Anápolis

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2018

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.


Maykon Douglas Rosário Rosa

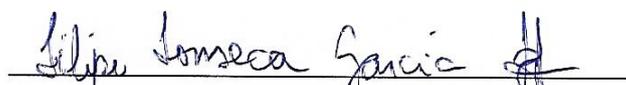
E-mail: engcivil.maykon@gmail.com

MAYKON DOUGLAS ROSÁRIO ROSA

**ELABORAÇÃO DE PISTAS EM PROJETOS DE
AERÓDROMOS E APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DA FAA
PARA O DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL
DO AEROPORTO DE CARGAS DE ANÁPOLIS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:



**FILIPE FONSECA GARCIA, Bacharel (UniEvangélica)
(ORIENTADOR)**



**CÉSAR AUGUSTO PAIVA GONÇALVES, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**



**EDUARDO DOURADO ARGÔLO, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 28 de NOVEMBRO de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado forças para conseguir mais esta vitória, por ser minha luz e me guiar em meio a tantos desafios e caminhos, pois mesmo nos momentos mais difíceis não permitiu que faltasse esperança em dias melhores.

Ao professor e orientador que me acompanhou, se responsabilizou e dedicou-se a me ajudar por todo esse tempo. A você Filipe Garcia, sou muito grato por ter tido toda essa paciência e dedicação.

A toda minha família, meus pais, irmão, tios (as) e amigos, agradeço por todo carinho, pela força, pelo acolhimento, por toda confiança e apoio depositado a mim. Em especial minha avó Joselina, segunda mãe, pelo incondicional apoio, por sempre estar ao meu lado, pelas palavras sábias, pelo abraço reconfortante e por todos os cuidados. Esta conquista não é somente minha, sendo assim, compartilho com vocês esse momento de alegria.

Maykon Douglas Rosário Rosa

RESUMO

O transporte aéreo vem crescendo exponencialmente nos últimos anos, com isso surge a necessidade da evolução na infraestrutura aeroportuária, porém por ser um processo complexo, requer tempo e grandes custos. Portanto, é essencial que toda construção seja executada de forma organizada, assegurando uma boa eficiência da obra. Este trabalho visou dar noções básicas para que o Engenheiro possa iniciar um Projeto Aeroportuário no caso o Aeródromo, demonstrando um estudo aprofundado dos fatores que influenciam sua execução e seus componentes estruturais. Neste contexto, trazendo noções da mecânica de locomoção das aeronaves, dimensionamento do comprimento de pista e sua orientação, e também o dimensionamento do pavimento. Simplificando, aeródromo é o espaço destinado para operações aeronáuticas de aterragem, pouso/decolagem e manobras de aviões e, pavimentação constitui-se de uma estrutura com diversas camadas, com a finalidade de resistir aos esforços causados pelos veículos e ações climáticas. Outro ponto importante neste trabalho é a demonstração de alguns métodos fornecidos pela FAA (*Federal Aviation Administration*) e aceitos pela ICAO (*International Civil Aviation Organization*), para dimensionamento do pavimento rígido ou flexível, aplicando-os no Aeroporto de Cargas de Anápolis – GO, apresentando a lógica e testemunhando as efetividades de cada um deles, nota-se que o programa FAARFIELD merece destaque pelos resultados obtidos.

PALAVRAS-CHAVE: Aeroportos. Aeródromo. Comprimento de Pista. Orientação da Pista. Dimensionamento. Pavimento. FAARFIELD.

ABSTRACT

Air transport has been growing exponentially in recent years, with the need for evolution in airport infrastructure, but because it is a complex process, it requires time and great costs. Therefore, it is essential that all construction is carried out in an organized way, ensuring a good efficiency of the work. This work aimed to provide basic notions so that the Engineer can start an Airport Project in the Aerodrome case, demonstrating an in - depth study of the factors that influence its execution and its structural components. In this context, bringing notions of the mechanics of aircraft locomotion, length sizing and its orientation, and also the sizing of the pavement. To simplify, aerodrome is the space destined for aeronautical operations of landing, landing / take-off and maneuvers of airplanes and, paving is constituted of a structure with several layers, in order to resist the efforts caused by the vehicles and climatic actions. Another important point in this work is the demonstration of some methods provided by the Federal Aviation Administration (FAA) and accepted by ICAO (International Civil Aviation Organization) for sizing the rigid or flexible pavement, applying them at the Cargo Airport of Anápolis - GO, presenting to the logic and witnessing the effectiveness of each one of them, it is noticed that the program FAARFIELD deserves emphasis by the obtained results.

KEYWORDS: Airports. Aerodrome. Track Length. Track Orientation. Sizing. Pavement. FAARFIELD.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Componentes do avião | 17 |
| Figura 2 – Demonstração tipos de asas | 18 |
| Figura 3 – Componentes do avião | 18 |
| Figura 4 – Dimensões das aeronaves..... | 19 |
| Figura 5 – Indicações das distâncias..... | 22 |
| Figura 6 – Ilustração das distâncias declaradas | 23 |
| Figura 7 – Decolagem com falha de um motor em V1 | 24 |
| Figura 8 – Decolagem sem falhas dos motores | 25 |
| Figura 9 – Comprimento de Pista Balanceado | 26 |
| Figura 10 – Comprimento de pista para o pouso..... | 26 |
| Figura 11 – Procedimento de subida | 27 |
| Figura 12 – Anemograma da Tabela4 | 33 |
| Figura 13 – Anemograma com as retas paralelas | 33 |
| Figura 14 – Efeitos do Vento na Aproximação e Pouso | 34 |
| Figura 15 – Efeitos do Vento sem a correção..... | 35 |
| Figura 16 – Tipos de pista | 36 |
| Figura 17 – Tipos de pista | 36 |
| Figura 18 – Sistema de camadas de um pavimento flexível..... | 39 |
| Figura 19 – Sistema de camadas de um pavimento rígido | 40 |
| Figura 20 – Deformação devido a um carregamento aplicado | 40 |
| Figura 21 – Tipos de trem de pouso | 41 |
| Figura 22 – Carregamento por roda..... | 41 |
| Figura 23 – Características da Pista..... | 46 |
| Figura 24 – Interface do FAARFIELD (Versão 1.42)..... | 49 |
| Figura 25 – Criando um novo trabalho..... | 50 |
| Figura 26- Caracterização do pavimento..... | 51 |
| Figura 27 – Mix de aeronaves | 52 |
| Figura 28 – Materiais das camadas..... | 52 |
| Figura 29 – Tela inicial do software | 53 |
| Figura 30 – Dados iniciais do projeto..... | 54 |
| Figura 31 – Step 2..... | 54 |
| Figura 32 – Step 4..... | 55 |

| | |
|--|----|
| Figura 33 – Step 4..... | 55 |
| Figura 34 – Step 5..... | 56 |
| Figura 35 – Step 6, 7 e 8..... | 56 |
| Figura 36 – Aviso para estabilização das camadas | 57 |
| Figura 37 – Step 9 (Estabilização da Base) | 57 |
| Figura 38 – Step 9 (Estabilização da Sub-Base)..... | 58 |

LISTA DE TABELA

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Código de referência do aeródromo | 30 |
| Tabela 2 – Largura de pista de pouso e decolagem | 30 |
| Tabela 3 – Componente de vento de través | 31 |
| Tabela 4 – Porcentagem de ventos (Exemplo) | 32 |
| Tabela 5 – Capacidades horárias estimadas | 38 |
| Tabela 6 – Mix de aeronaves previstas para operarem no aeroporto de Anápolis-GO | 46 |
| Tabela 7 – Resumo dos resultados dos ensaios geotécnicos do solo do Subleito | 47 |
| Tabela 8 – Espessura mínima para as aeronaves | 59 |
| Tabela 9 – Fatores de conversão | 60 |
| Tabela 10 – Valores obtidos referentes à R2, W1, W2 e R1 | 60 |
| Tabela 11 – Resultado do Dimensionamento pelo FAARFIELD | 63 |
| Tabela 12 – Resultado do Dimensionamento pelo Flexible Pavement Design | 63 |
| Tabela 13 – Resultado do Dimensionamento pelo USACE | 64 |
| Tabela 14 – Espessura das camadas | 64 |

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

| | |
|-----------|--|
| AC | <i>Advisory Circulars</i> |
| AGETOP | Agência Goiana de Transportes e Obras Públicas |
| ANAC | Agência Nacional de Aviação Civil |
| ASDA | Distância de Aceleração e Parada |
| BGTC | Brita Graduada Tratada com Cimento |
| BR | Rodovia Federal |
| CBUQ | Concreto Betuminoso Usinado a Quente |
| CP | Carga Paga |
| CPM | Carga Máxima Estrutural |
| CWY | <i>Clearway</i> (Zona Desimpedida) |
| DAIA | Distrito Agroindustrial de Anápolis |
| DNIT | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes |
| FAA | <i>Federal Aviation Administration</i> |
| FAARFIELD | <i>Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design</i> |
| FAR | <i>Federal Aviation Regulations</i> |
| FCA | Ferrovia Centro-Atlântica |
| GO | Rodovia Estadual |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| ICAO | <i>International Civil Aviation Organization</i> |
| IFR | <i>Instrument Flight Rule</i> |
| INFRAERO | Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária |
| ISA | <i>ICAO Standard Atmosphere</i> |
| LDA | Distância de Aterrissagem |
| NDA | Número Anual de Decolagem |
| PMD | Peso Máximo de Decolagem |
| PMEA | Peso Máximo Estrutural de Aterrissagem |
| PMED | Peso Máximo Estrutural de Decolagem |
| PMR | Peso Máximo de Rampa |
| POV | Peso Operacional Vazio |
| PZC | Peso Zero Combustível |
| RBAC | Regulamento de Aviação Civil |

| | |
|-------|---|
| SWY | <i>Stopway</i> (Zona de Parada) |
| TODA | Distância de Decolagem |
| TORA | Distância de Rolagem para Decolagem |
| UFR | <i>Visual Flight Rule</i> |
| USACE | Método do Corpo de Engenheiros Americanos |
| V1 | Velocidade de Decisão |
| V2 | Velocidade de subida |
| VLOF | Velocidade de Decolagem |
| VR | Velocidade de Rotação |
| VS | Velocidade de Estol |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|-----|------------|
| Cm | Centímetro |
| m | Metro |
| km | Quilômetro |
| in | Polegada |
| lbs | Libra |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 1.1 OBJETIVOS | 13 |
| 1.1.1 Objetivo geral | 13 |
| 1.1.2 Objetivos específicos..... | 13 |
| 1.2 METODOLOGIA | 14 |
| 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO..... | 15 |
| 2 AERÓDROMOS..... | 16 |
| 2.1 HISTÓRICO | 16 |
| 2.2 NOÇÕES DA MECÂNICA DE LOCOMOÇÃO DAS AERONAVES | 17 |
| 2.3 DIMENSIONAMENTO DO COMPRIMENTO DE PISTA | 21 |
| 2.3.1 Requisitos para homologação de aeronaves..... | 21 |
| 2.3.2 Aspectos que condicionam o comprimento da pista | 24 |
| 2.3.2.1 Regulamentos locais | 24 |
| 2.3.2.1.1 <i>Comprimento da pista para decolagem</i> | <i>24</i> |
| 2.3.2.1.2 <i>Comprimento balanceado da pista</i> | <i>25</i> |
| 2.3.2.1.3 <i>Comprimento da pista para pouso.....</i> | <i>26</i> |
| 2.3.2.1.4 <i>Requisitos mínimos de subida</i> | <i>27</i> |
| 2.3.2.2 Condições locais | 28 |
| 2.3.2.3 Desempenho da aeronave..... | 28 |
| 2.3.3 Fatores de correção no dimensionamento da pista | 28 |
| 2.3.4 Código de referência do aeródromo | 29 |
| 2.4 CONFIGURAÇÃO DA PISTA DE POUSO E DECOLAGEM..... | 31 |
| 2.4.1 Orientação da pista | 31 |
| 2.4.1.1 Método Rosa dos Ventos | 31 |
| 2.4.2 Número de pistas | 35 |
| 2.4.3 Capacidade das pistas | 37 |
| 3 PAVIMENTAÇÃO DE AEROPORTOS | 39 |
| 3.1 MECÂNICA DOS PAVIMENTOS..... | 40 |
| 3.2 DIMENSIONAMENTO DOS PAVIMENTOS..... | 41 |
| 4 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL DO AEROPORTO DE CARGAS DE ANÁPOLIS – GO..... | 44 |
| 4.1 O MUNICÍPIO DE ANÁPOLIS..... | 44 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 4.2 | CARACTERÍSTICAS DO AEROPORTO | 45 |
| 4.3 | AERONAVES DE PROJETO | 46 |
| 4.4 | CARACTERÍSTICAS DO SUBLEITO | 47 |
| 4.5 | DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL..... | 48 |
| 4.5.1 | Materiais das camadas da estrutura do pavimento flexível | 48 |
| 4.5.1.1 | Material para a Sub-base..... | 48 |
| 4.5.1.2 | Material para a Base..... | 49 |
| 4.5.1.3 | Material para o Revestimento | 49 |
| 4.5.2 | Dimensionamento do pavimento pelo software FAARFIELD (Versão 1.42) | 49 |
| 4.5.3 | Dimensionamento através do Software FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN..... | 53 |
| 4.5.4 | Dimensionamento através do USACE..... | 58 |
| 4.5.4.1 | Aeronave de Projeto..... | 58 |
| 4.5.4.2 | Frequência de Decolagens Equivalentes..... | 59 |
| 4.5.4.3 | Cálculos para o dimensionamento | 60 |
| 5 | RESULTADOS ALCANÇADOS E ANÁLISE COMPARATIVA..... | 63 |
| 5.1 | SOFTWARE: FAARFIELD (VERSÃO 1.42) | 63 |
| 5.2 | SOFTWARE: FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN..... | 63 |
| 5.3 | MÉTODO DO CORPO DE ENGENHEIROS AMERICANOS (USACE)..... | 64 |
| 5.4 | ANÁLISE COMPARATIVA | 64 |
| 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 66 |
| | REFERÊNCIAS | 68 |
| | ANEXO A..... | 71 |
| | ANEXO B..... | 72 |
| | ANEXO C..... | 73 |
| | ANEXO D..... | 74 |
| | ANEXO E..... | 75 |
| | ANEXO F | 76 |
| | ANEXO G..... | 77 |

1 INTRODUÇÃO

O transporte aéreo surgiu num contexto de inovação tecnológica, com um grande incremento no pós I Guerra Mundial, desencadeando um novo surto de desenvolvimento, no conflito mundial que se seguiu (CASTRO, 2012). No início do século XIX houve um significativo aumento na fabricação de aeronaves, e acompanhando deste, vieram inúmeros acidentes aeronáuticos a ocorrer em virtude da falta de uma regulamentação eficaz. A história da aviação civil mundial mostra que os estudos sobre os fatores que condicionam a construção de um aeródromo e de aviões são importantes, já que as guerras e as viagens intercontinentais se voltaram à utilização de aeroplanos, seja pela sua agilidade, seja pela sua autonomia ou pela sua economia (AZEREDO, 2011).

Observa-se que o transporte aéreo no Brasil cresceu exponencialmente nos últimos anos. O número de viagens cresceu a uma taxa de 10% ao ano entre 2003 e 2008, e no ano de 2010 foram realizadas mais de 50 milhões de viagens (MCKINSEY & COMPANY, 2010). Em 2014, o transporte aéreo registrou crescimento mesmo em um cenário de desaceleração econômica no Brasil. A quantidade de passageiros pagos transportados pelo modal aéreo para cada 100 habitantes passou de 26,8 em 2005 para 58,7 em 2014, o que mostra que o crescimento neste modal mais que dobrou em uma década (ANAC, 2015).

Portanto, se faz necessária à evolução na infraestrutura aeroportuária brasileira. Segundo Alves e Fraga (2012), essa evolução é complexa, demanda tempo e possui grandes custos, financeiro e socioambiental. Sendo assim, todo processo a ser executado, tanto construções ou ampliações de um aeroporto, precisam ser realizadas de forma organizada garantindo a eficiência da obra. Para isso, o planejamento destas obras inicia-se com um estudo aprofundado nos fatores que influenciam em sua construção e de seus respectivos componentes estruturais. Dentro deste contexto, vale ressaltar a importância do planejamento na construção dos componentes que constituem os aeroportos, dentre eles o aeródromo e o dimensionamento do pavimento.

Aeródromo se trata de um espaço direcionado para as operações aeronáuticas de aterragem, decolagem, manobras dos aviões e estacionamento. Neste perímetro devem-se localizar os subsistemas de apoio à navegação aérea como sejam a torre de controle, os instrumentos de localização e aterragem. Os edifícios de suporte às operações fazem igualmente parte do aeródromo como sejam as salas de operações, as salas de “briefing”, a meteorologia e os serviços de segurança (CASTRO, 2012).

Segundo Bernucci *et al.* (2006), pavimento consiste em uma estrutura de várias camadas de espessuras finitas, com objetivo de resistir os esforços provocados a partir do tráfego de veículos e as ações climáticas, além de proporcionar condições de rolamento, garantindo conforto, segurança e economia.

Portanto o presente trabalho tem como objetivo destacar os determinantes que condicionam a construção do projeto da pista de aeródromos, componentes essenciais para o funcionamento dos serviços aeroportuários, apresentando os diversos fatores que influenciam em sua construção. Apresentar os critérios de dimensionamento do pavimento aeroportuário, como são obtidas as espessuras de suas camadas, em conjuntura com a localização, que sejam capazes de suportar as solicitações impostas por determinadas aeronaves. Além disso, fazer um comparativo dos métodos fornecidos da FAA (*Federal Aviation Administration*), verificando os critérios que devem ser seguidos para a correta elaboração de um aeroporto.

Desta forma, oferecer subsídios dos conceitos aeronáuticos associados a um projeto aeroportuário, para que profissional da engenharia civil possa planejar projetar e executar construções que compõem um aeródromo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Partindo da importância de um bom planejamento de qualquer projeto, este trabalho tem por objetivo geral demonstrar ao engenheiro civil noções mínimas para a construção de um aeródromo, restringindo sua atenção em pontos primordiais para que o mesmo possa planejar e executar com segurança.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Demonstrar ao profissional de engenharia civil, particularidades essenciais que devem ser levantadas antes de iniciar um projeto.
- b) Determinação do dimensionamento da pista necessário para Pouso e Decolagem da aeronave;
- c) Planejar a configuração da pista de pouso e decolagem, visando melhor desempenho possível;
- d) Apresentar como é feito o dimensionado um pavimento aeroportuário.

e) Comparar os métodos utilizados pela FAA para o dimensionamento do pavimento, demonstrando o mais eficiente.

1.2 METODOLOGIA

O presente trabalho orientou-se pela revisão bibliográfica e exploratória com base nas contribuições teóricas de vários autores que realizaram estudos sobre aeródromos. Segundo Gil (1999), “a pesquisa bibliográfica é de grande valia e eficácia ao pesquisador porque ela permite obter conhecimentos sobre um objeto de pesquisa, a partir da busca de informações advindas de materiais diversos: livros, compêndios, artigos, etc...”. Assim, o estudo foi formado basicamente de informações teóricas, dedicadas à formulação de quadros de referências e estudos realizados e publicados em artigos.

Foram realizadas busca e seleção de textos e de informações com catalogação, para uso na pesquisa, de documentação que tenha relacionamento com o tema. A pesquisa estruturou-se a partir de trabalhos de referência, já publicados, sobre o assunto, além de dados oficiais fornecidos pela INFRAERO e ANAC, para planejamento e elaboração de projetos de aeródromos. Os dados levantados foram analisados e tratados de forma qualitativa, sendo comparados com as bibliografias usadas que discorrem sobre o assunto.

A análise dos dados foi de natureza descritiva, pois, de acordo com Gil (1999), “as pesquisa deste tipo têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre as variáveis”.

O estudo, portanto, teve base investigativa em pesquisa bibliográfica e exploratória, com base descritiva dos fenômenos identificados em estudos publicados por autores renomados sobre viabilização dos determinantes de projetos da pista de um aeródromo e expor metodologias para o dimensionamento do pavimento, a fim de trazer subsídios teóricos e práticos aos profissionais de engenharia civil. Além de, contar com uma descrição dos *softwares* e métodos adotados pela FAA para o dimensionamento do pavimento flexível, os quais são: FAARFIELD, Flexible Pavement Design e o Corpo de Engenheiros Americanos. Os dados referente ao Aeroporto de Cargas de Anápolis, utilizados para os cálculos, foram fornecidos pela AGETOP. Após os resultados obtidos pelos métodos, foi feita uma análise demonstrando a eficiência de cada um e, por fim, conclui-se o trabalho.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

No presente capítulo é introduzido de modo geral o assunto que será exposto no decorrer do trabalho, além de demonstrar os motivos para sua elaboração. Este estudo contará com a presença de mais capítulos.

No capítulo 2, encontra-se uma contextualização histórica destacando a importância e a necessidade de crescimento para atender o mercado. E também, especifica as noções da mecânica de locomoção das aeronaves, onde são indicados os componentes básicos de um avião, que são necessárias para iniciar um projeto de aeródromo e, por fim, trás um formulário a ser seguido para o dimensionamento da pista de pouso e decolagem com todas as especificações necessárias.

No capítulo 3, é abordada a pavimentação da pista, onde demonstra como é a mecânica dos pavimentos, além de estar preenchido com algumas especificações de acordo com o tipo a ser utilizado, facilitando o entendimento.

No capítulo 4, trás um pequeno histórico de Anápolis a fim de solidificar a importância do aeroporto para a economia da cidade. E também, o detalhamento dos métodos utilizados neste estudo para o dimensionamento do pavimento.

No capítulo 5, apresenta os resultados obtidos através dos métodos utilizados e fornecidos pela FAA, sendo estes, o FAARFIELD, Flexible Pavement Design e o Corpo de Engenheiros Americanos (USACE). Conjuntamente uma análise comparativa dos mesmos.

No capítulo 6, são apresentadas as considerações finais do trabalho a partir da análise dos dados.

2 AERÓDROMOS

2.1 HISTÓRICO

O transporte aéreo está em constante expansão, considerando-se o reflexo direto que esta causa numa população, como a facilitação no transporte de passageiros, a turismo ou a serviço, no deslocamento de mercadorias, para os produtos que exigem urgência na entrega, seja por questões de prazo de validade, ou para atendimento de necessidades de recursos especiais. Dada à facilitação que a globalização tem causado aos países de todo o mundo, sabe-se é fundamental que haja infraestrutura para recebê-la em cada território. Um dos fatores de infraestrutura fundamentais para que haja uma comunicação e um contato direto com a globalização, além dos diversos elementos de comunicação, é a estrutura aeroportuária, que disponibiliza não somente o transporte de informação, mas, também, de produtos e pessoas, de maneira rápida, segura e eficiente (SILVA, 2016).

A demanda pelo transporte aéreo no Brasil durante a última década apresentou crescimentos expressivos. Segundo INFRAERO (2013). Concomitantemente, a preocupação dos participantes do setor em relação à capacidade da infraestrutura existente aumenta. O aumento da demanda sem a devida adequação da capacidade instalada e fatores relacionados à sua infraestrutura pode resultar em aumento no número atrasos e cancelamentos de voos, o que significaria prejuízo ao setor como um todo.

Apresentada a importância dos aeroportos, é válido frisar uma série de fatores que determinam a construção de pistas de pouso e decolagem em aeródromos, que influenciam diretamente na atividade das aeronaves. Podemos determinar aeródromo referindo-se a qualquer superfície terrestre ou aquática que disponha de infraestrutura destinada a decolagem, pouso e movimentação de aeronaves. Seguindo este contexto o aeroporto é um aeródromo público que detém de instalações e comodidade para apoio de operações de aeronaves, embarque e desembarque de pessoas e cargas. Um aeroporto é formado por inúmeros sistemas interdependentes que possuem atributos próprios, tais como, o sistema de pistas de pouso e decolagem, o sistema de pátios e o terminal de passageiros. Caso algum desses sistemas demonstre saturação em qualquer momento, o atraso pode se reproduzir pelos demais sucedendo na saturação do aeroporto por completo (FORTES *et al.*, 2015).

Portanto o conhecimento de padronizações, de regulamentações e dos fatores que condicionam a construção de pistas de pousos e decolagens em aeródromos são de suma

importância para a formação do Engenheiro Civil, haja vista que ele já tem os princípios básicos de construção, porém, há a necessidade de demonstrar a peculiaridade de operação das aeronaves, bem como a do anteprojeto para implantação de um aeroporto.

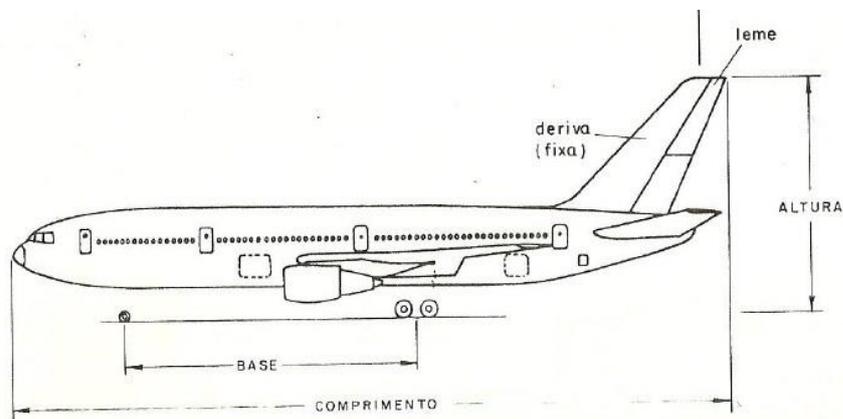
2.2 NOÇÕES DA MECÂNICA DE LOCOMOÇÃO DAS AERONAVES

Partindo do conceito, avião é um veículo que voa devido à interação de suas asas com o ar, ou seja, um efeito aerodinâmico, o qual é responsável pela força de sustentação (GOLDNER *et al.*, 2012). Sendo assim, é significativo que o Engenheiro Civil tenha conhecimento das características e funcionamento das aeronaves que utilizaram o aeródromo a ser projetado. Os componentes básicos de toda aeronave são: asas, sistemas propulsores, superfícies móveis e fuselagem.

- Asas – responsáveis por gerar a força de sustentação, podendo variar em vários formatos: em flecha, retangular, em delta, geometria variável, elíptico, trapezoidal, entre outros.
- Propulsores – responsável por proporcionar o empuxo ou tração necessária ao deslocamento do ar.
- Superfícies móveis – partes essenciais responsáveis por controlar a altitude e direção da aeronave (elerões, elevadores, lemes, flapes).
- Fuselagem – corpo da aeronave que liga as outras partes do avião onde se localiza a tripulação, carga, passageiros, sistema de controle, instrumentos e sistema de trem de pouso.

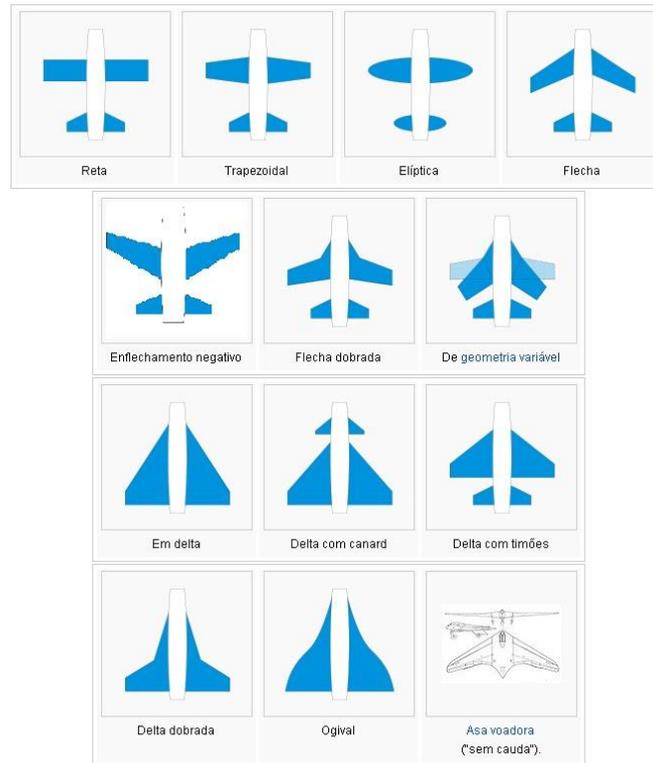
Os componentes acima citados podem ser observados nas Figuras 1, 2 e 3.

Figura 1 – Componentes do avião



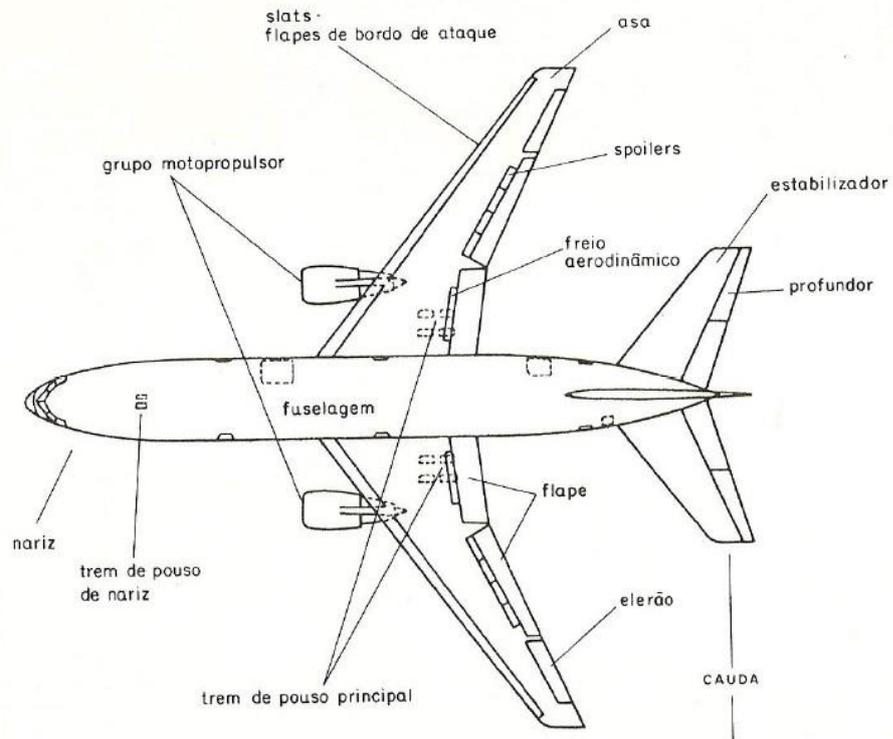
Fonte: GOLDNER *et al.*, 2012.

Figura 2 – Demonstração tipos de asas



Fonte: DOMINGOS, 2010.

Figura 3 – Componentes do avião

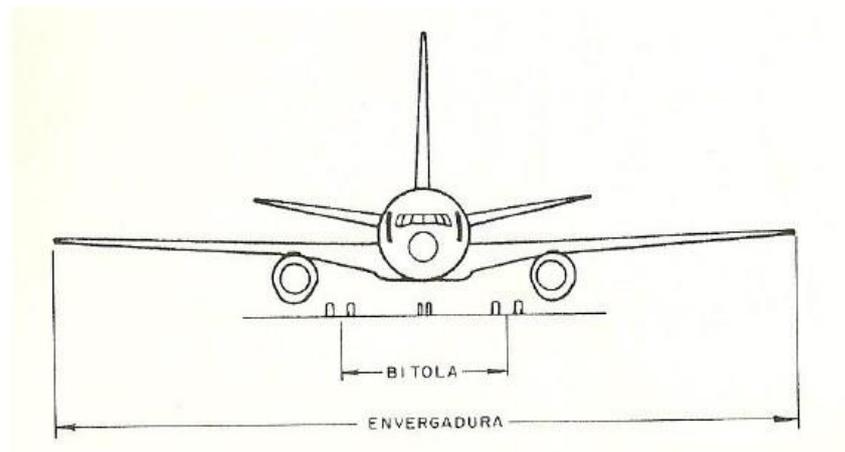


Fonte: GOLDNER *et al.*, 2012.

Para se iniciar o dimensionamento de pistas de aeródromos é necessário considerar aspectos aeronáuticos intrínsecos ao estudo aeroportuário que afetam direta e indiretamente o seu planejamento, sendo eles:

Dimensões (Figura 1 visto anteriormente e Figura 4) – envergadura, comprimento da fuselagem e altura das aeronaves, pois afetam diretamente nas dimensões dos pátios, hangares e as separações laterais das pistas de rolamento. (AZEREDO, 2011). A base é comprimento entre o eixo dos trens principais e o trem de nariz, e a bitola, comprimento entre os trens principais, consequentemente estabelece dimensões transversais nas pistas, seus cruzamentos e curvaturas (ALVES, 2014).

Figura 4 – Dimensões das aeronaves



Fonte: GOLDNER *et al.*, 2012.

Motores – Os jatos das aeronaves de transporte podem ser divididos em dois grupos básicos: turbojato e *turbofan*. O turbojato advém do compressor, câmara de combustão e turbina na parte posterior do motor. O *turbofan* é basicamente um turbojato ao qual foi acrescentado um disco de lâminas (hélices) de grande diâmetro, qual se encontra à frente do compressor. Esse disco de lâminas é chamado de *fan* (ventilador) (ALVES, 2014).

Capacidade – A capacidade das aeronaves para passageiros, carga e combustível, influencia as dimensões e as disposições das instalações para passageiros e carga, bem como os métodos de armazenamento de combustível e de aeronaves (AZEREDO, 2011).

Raio de giro – É fundamental para o estudo dos movimentos realizados no solo pelas aeronaves. Essa geometria é determinada pelo percurso de seus pontos extremos, tais como: ponta de asa, nariz e cauda. Ele define a trajetória dos trens de pouso assim a superfície que deve dispor de um suporte adequado à movimentação da aeronave. Sendo assim, quanto

maior o raio de giro, maiores dimensões são exigidas para garantia da segurança operacional, gerando áreas maiores para a realização de manobras (ALVES, 2014).

Decolagem e Pouso – Decolagem é o processo de locomoção da aeronave, tendo início na cabeceira da pista, onde é aplicada a potência necessária para que o avião atinja velocidade de voo, terminando ao atingir altura de 15m. Existem variáveis que podem afetar à distância de decolagem como, peso do avião que resulta na perda de aceleração e aumento na velocidade de estol (perda de sustentação total da aeronave), condições meteorológicas (densidade do ar e ventos) e a própria pista que pode intervir no tipo de pavimentação, gerando diferentes coeficientes de atrito. Já o pouso é a desaceleração da aeronave ainda em voo, com objetivo de passar na cabeceira da pista com altura de 15m e com velocidade constante de 1,3VS (1,3 vel. de estol), condições exigíveis para pouso. Vale ressaltar que possuem variáveis que afetam o comprimento da pista na hora do pouso, sendo elas, superfície da pista, pressão, peso bruto, dispositivos de frenagem, entre outros (GOLDNER *et al.*, 2012).

Peso da aeronave – Existem várias definições referentes ao peso da aeronave que se diferenciam como: Peso Operacional Vazio (POV), peso bruto variável do avião, excluindo-se combustível e carga paga, contendo todos os equipamentos necessários para voo, inclusive tripulantes; Peso Zero Combustível (PZC), tecnicamente é o POV, porém com adição da carga; Carga Paga (CP) é toda carga transportada, incluindo passageiros, bagagem, correio e carga; Carga Paga Máxima Estrutural (CPM), peso máximo em que a carga pode alcançar; Peso Máximo de Rampa (PMR), peso total autorizado para a aeronave realizar manobras no solo; Peso Máximo Estrutural de Decolagem (PMED) é o peso máximo estabelecido para realização da decolagem respeitando a integridade estrutural da aeronave; Peso Máximo Estrutural de Aterrissagem (PMEA) é o mesmo que o PMED, entretanto ao invés de decolagem seria na realização do pouso.

Tendo em mente todas as informações necessárias para que haja compatibilidade entre aeronaves e aeroportos, o Engenheiro Civil conseguirá uma melhoria na a atividade do transporte aéreo, consequentemente um aumento nos níveis de segurança das operações e na capacidade das instalações.

2.3 DIMENSIONAMENTO DO COMPRIMENTO DE PISTA

Como já mencionado, o comportamento das aeronaves ao realizar as manobras de Decolagem e Pouso são diretamente influenciados por parâmetros da região onde está localizado o aeroporto e a própria aeronave. Sendo estes:

- Referentes ao aeroporto:
 - Altitude;
 - Declividade da pista;
 - Velocidade e direção da pista;
 - Temperatura de referência.
- Referentes à aeronave:
 - Particularidades aerodinâmicas;
 - Peso;
 - Particularidades dos motores.

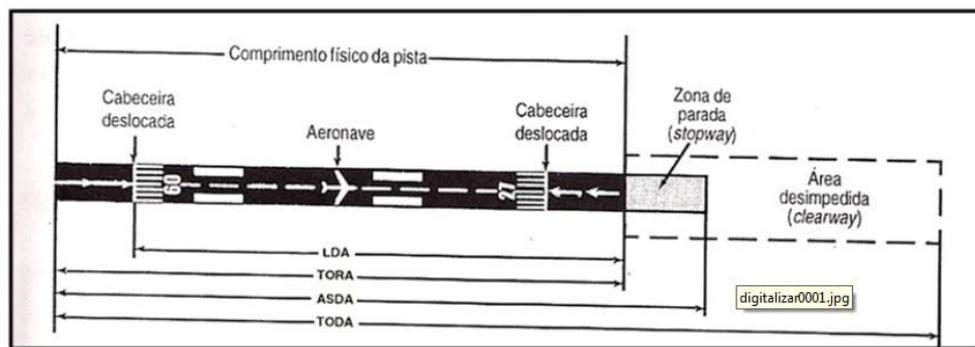
2.3.1 Requisitos para homologação de aeronaves

As velocidades e distâncias mencionadas a seguir (Figura 5), são estudadas e informadas pelos fabricantes das aeronaves nos manuais de instrução, segundo ICAO (INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 1999), os quais podem ser discriminados como:

- V1 – Velocidade de decisão: Velocidade a qual o operador da aeronave escolhe ao reconhecer uma perda rápida ou total de potência na unidade motopropulsora, onde é possível frear até a parada total do avião ou continuar com um dos motores inoperantes, cabe ao piloto escolher se continua ou aborta a decolagem;
- VR – Velocidade de rotação: Velocidade onde o piloto inicia-se a rotação da aeronave retirando-se do solo o trem de nariz;
- VLOF – Velocidade de decolagem: Velocidade na hora que se inicia o voo, ou seja, retirada do avião da pista;
- V2 – Velocidade de subida: Mínima velocidade que o piloto pode dar ao início da subida ao ter ultrapassado 10,7m de altura da pista;
- TODA – Distância de decolagem: É considerada a distância para decolagem, ou seja, é o comprimento do piso disponível para a execução da decolagem, acrescentando o comprimento da área desimpedida (quando houver);

- TORA – Distância de rolagem para decolagem: Conhecida como corrida de decolagem, e a distância que varia da imobilidade até alcançar o ponto médio entre VLOF e o ponto V2 atingindo 10,7m de altura (com possível falha de um motor / 115% dela – sem falha).
- ASDA – Distância de aceleração e parada: É o comprimento da pista para a decolagem, mais o comprimento utilizado para frenagem e total parada da aeronave.
- LDA – Distância de aterrissagem: Distância disponível para que o avião pouse em segurança.

Figura 5 – Indicações das distâncias



Fonte: HORONJEFF, 1966.

Cálculo das distâncias reportadas anteriormente, segundo Regulamento de Aviação Civil (RBAC) nº 154, EMENDA nº 2 (ANAC, 2017). As quais poderão ser encontradas e indicadas na Figura 6. Vale ressaltar que as distâncias declaradas constituem o maior valor que pode ser declarado. Dependendo de alguns casos as distâncias indicadas podem ser reduzidas com o objetivo de ordenar margem de segurança adicional, a fim de reduzir a deficiência da infraestrutura ou a existência de obstáculos.

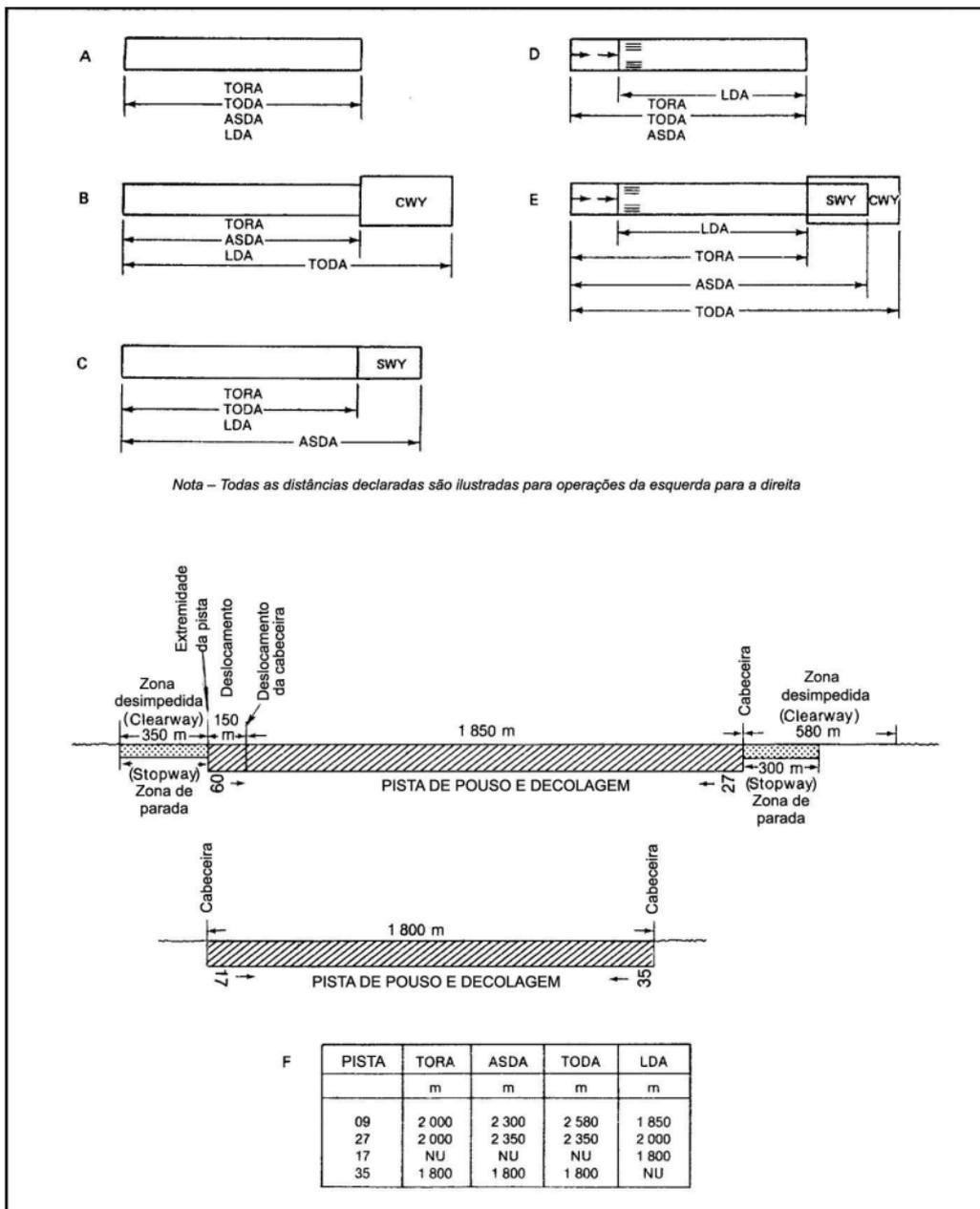
- As distâncias declaradas a serem calculadas para cada direção da pista de pouso e decolagem compreendem: pista disponível para corrida de decolagem (TORA), distância disponível para decolagem (TODA), distância disponível para aceleração e parada (ASDA) e a distância disponível para pouso (LDA).
- Quando uma pista de pouso e decolagem não for dotada de uma zona de parada (*stopway*) ou zona desimpedida (*clearway*) e se a cabeceira estiver localizada na extremidade da pista, as quatro distâncias declaradas devem ser iguais ao comprimento da pista de pouso e decolagem, conforme mostrado na Fig. 6 (A).
- Quando uma pista de pouso e decolagem for dotada de uma zona desimpedida (CWY), então a TODA incluirá o comprimento da zona desimpedida, conforme mostrado na Fig. 6 (B).
- Quando uma pista de pouso e decolagem for dotada de uma zona de parada (SWY), então a ASDA incluirá o comprimento da zona de parada, conforme mostrado na Fig. 6 (C).

(e) Quando uma pista de pouso e decolagem tiver uma cabeceira recuada, então a LDA será reduzida na distância que a cabeceira estiver deslocada, conforme mostrado na Fig. 6 (D).

(f) As Fig6 (B) a 6 (D) ilustram uma pista de pouso e decolagem dotada de uma zona desimpedida (*clearway*) e uma zona de parada (*stopway*) ou tendo uma cabeceira recuada. Quando existir mais do que uma dessas características, então mais que uma das distâncias declaradas serão modificadas – porém a modificação seguirá o mesmo princípio ilustrado. Um exemplo elucidativo dessa situação, que apresenta todas essas características, é mostrado na Fig. 6 (E).

(g) Um formato sugerido para fornecer informações sobre as distâncias declaradas é mostrado na Fig. 6 (F). Se a direção de uma pista de pouso e decolagem não puder ser utilizada para decolagem ou pouso, ou ambas as operações, devido à sua operacionalidade proibida, então essa situação deve ser declarada e as palavras “não utilizável” ou a abreviação “NU” mencionadas.

Figura 6 – Ilustração das distâncias declaradas



2.3.2 Aspectos que condicionam o comprimento da pista

De acordo com Goldner *et al.*, (2012), existem fatores, que condicionam o comprimento da pista, os quais devem ser considerados:

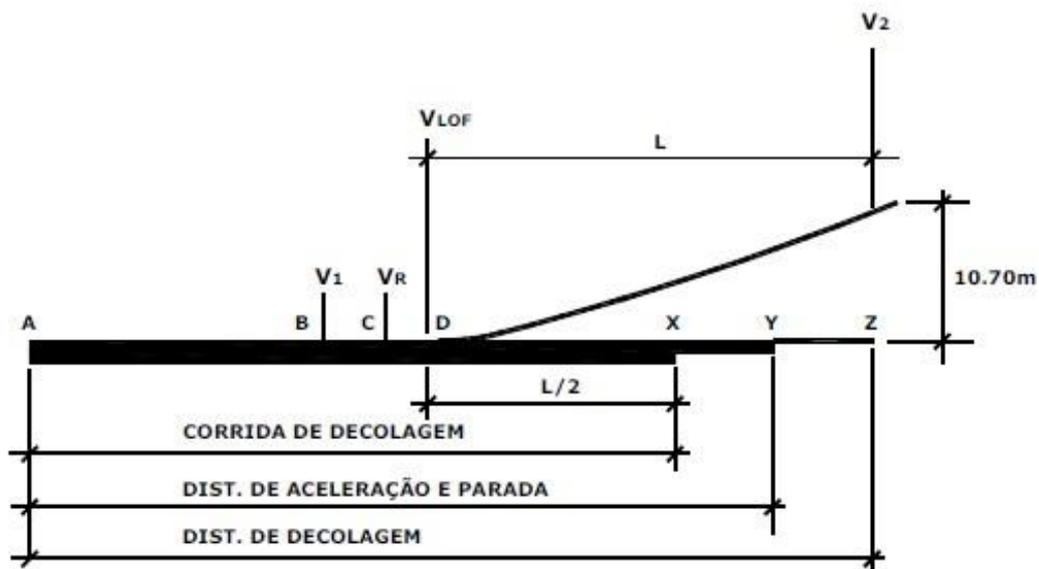
2.3.2.1 Regulamentos locais

2.3.2.1.1 Comprimento da pista para decolagem

Dado início da decolagem, o piloto tem total liberdade de escolha para prosseguir ou abortá-la, dentro dos limites estabelecidos que garanta segurança.

Analisando-se a Figura 7:

Figura 7 – Decolagem com falha de um motor em V1



Fonte: GOLDNER *et al.*, 2012.

Encontrando-se a aeronave no ponto A, é dado início ao curso de decolagem, onde o piloto aplica toda potência dos motores. Se for identificada uma falha súbita ou total dos motores ao atingir V1 (Velocidade de Decisão), o mesmo decidirá se continua ou aborta a decolagem. Atendendo os seguintes requisitos:

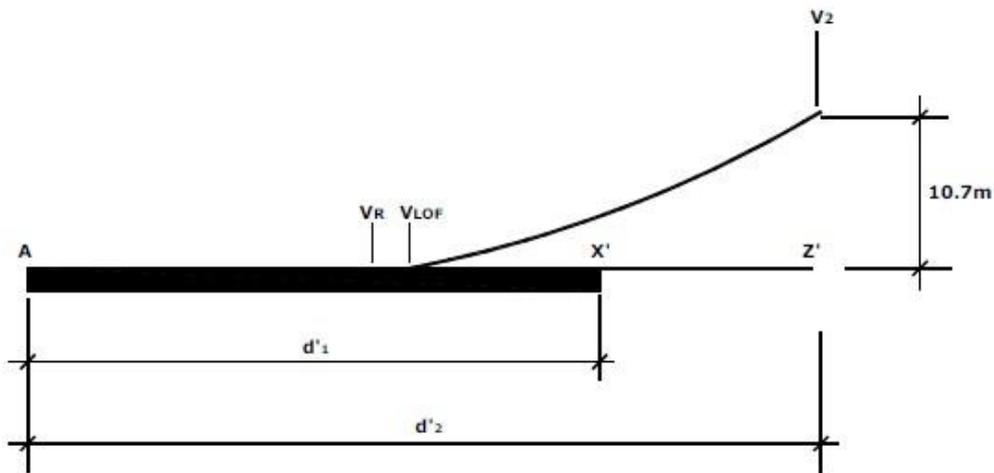
- Se decidir suspender a decolagem, o piloto deverá acionar os freios do avião, na qual carecerá sua total parada em Y;

- Caso decida prosseguir, terá de manter a aceleração até que seja atingida a VR (Velocidade de Rotação), possibilitando o levantamento do nariz da aeronave, após alcançar a velocidade de decolagem (VLOF) inicia-se voo em D. Dentre as condições o aeroplano passará pelo ponto Z com altura de 35 pés (10,7m) e com velocidade igual ou superior a V2 (Velocidade de subida).

O piloto deverá obrigatoriamente suspender a decolagem, caso a falha do motor seja detectada antes da velocidade V1, com isso, a aeronave irá parar antes do ponto Y, após ter sido acionado os dispositivos de frenagem. Esta manobra é conveniente, visto que não há potência suficiente para atingir a velocidade adequada para voo. Contudo, se a falha suceder após atingir a velocidade V1, a decolagem irá prosseguir em consequência de a aeronave não conseguir parar na distância disponível.

Na ocasião da não ocorrência das falhas no motor, como se dá normalmente, o avião correrá até alcançar VR, VLOF e V2, decolando (Figura 8).

Figura 8 – Decolagem sem falhas dos motores



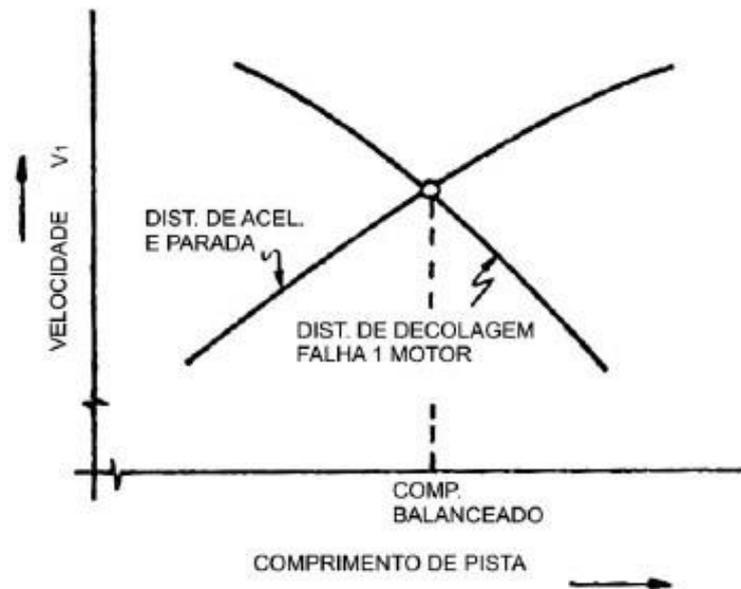
Fonte: GOLDNER *et al.*, 2012.

2.3.2.1.2 Comprimento balanceado da pista

Haja vista que, seja necessário ter como base, para o dimensionamento da pista, as distâncias de aceleração e parada (ASDA) e a de decolagem com falha em um motor. Podem-se utilizar estes dados e balancear o comprimento da pista, com falha de um motor, através de um gráfico, que se dá no encontro das duas informações (Figura9). Caso não haja falha nos motores a corrida de decolagem será definida como 115% da distância para alcançar VLOF +

1/2. Conclui-se então, com todos os motores operando, o comprimento de pista de decolagem é o maior entre o comprimento da pista balanceada e 115% da distância de decolagem, pressupondo que a corrida de decolagem é a maior entre a distância para atingir a VLOF, com falha em V1 e 115% para atingir a VLOF sem falha.

Figura 9 – Comprimento de Pista Balanceado

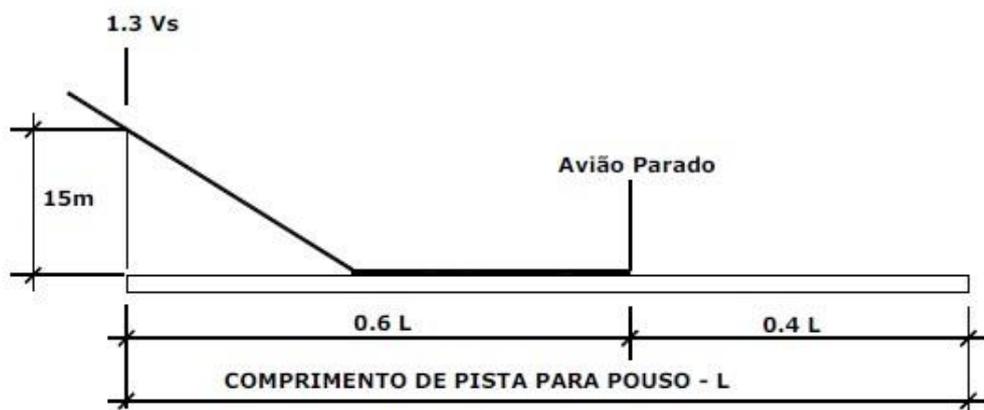


Fonte: GOLDNER *et al.*, 2012.

2.3.2.1.3 Comprimento da pista para pouso

Considerando a Figura 10:

Figura 10 – Comprimento de pista para o pouso



Fonte: GOLDNER *et al.*, 2012.

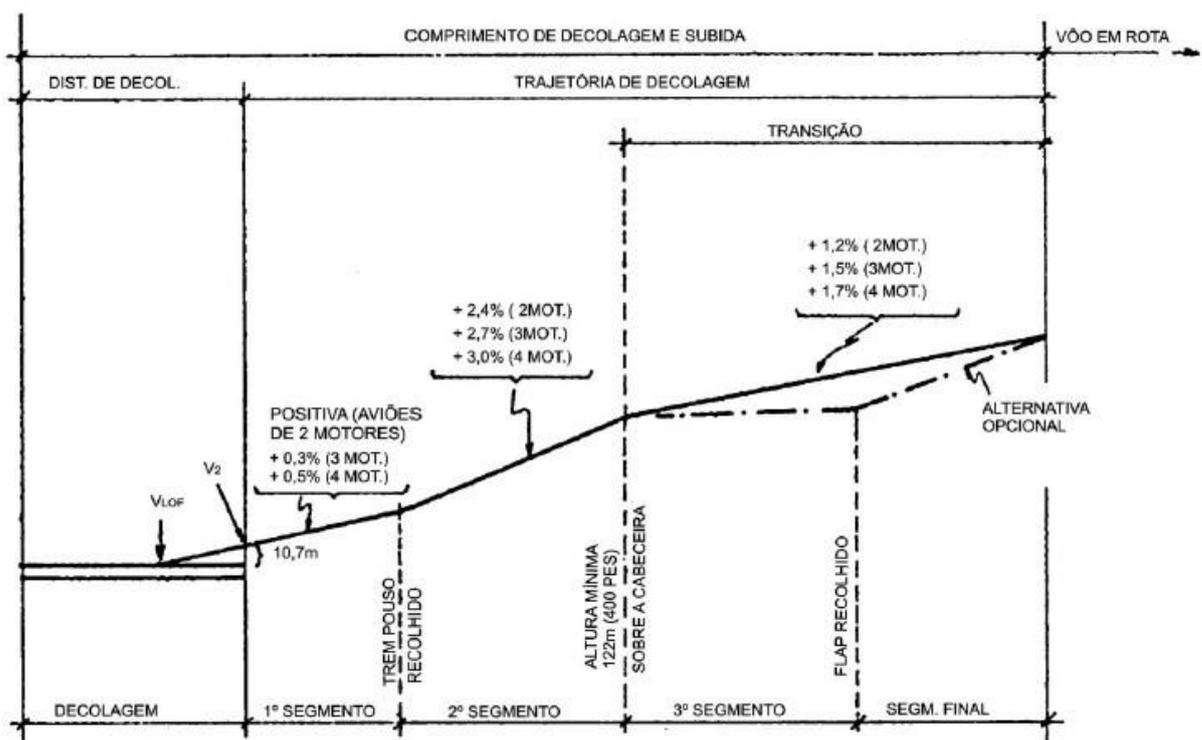
A realização do pouso depende de algumas condições, tais como: estado da superfície da pista; peso total para pouso; pressão e temperatura do ar; posição dos *flaps* e funcionamento dos dispositivos de frenagem. Estas informações são fornecidas pelos manuais de cada aeronave.

A extensão da pista deve atender possíveis e diferentes métodos de pouso, podendo haver ou não algum problema com a aproximação da aeronave. Sendo assim, o avião sobrepasa pela cabeceira da pista com altura de 15m e velocidade de estol constante de 1,3VS, dadas condições segundo as normas, a aeronave terá sua total parada em 60% do comprimento total da pista.

2.3.2.1.4 Requisitos mínimos de subida

Tendo início da decolagem, depois de atingir a V_2 , alguns requisitos mínimos são impostos pelo FAR Part. 25 com a finalidade de garantir o sobrevoos de obstáculos, estes requisitos são em função do número de motores. No 2º segmento é onde exige maior razão de subida da aeronave, o que justifica as limitações do peso (ALVES, 2014). Verifica-se Figura 11.

Figura 11 – Procedimento de subida



Fonte: Fonte: GOLDNER *et al.*, 2012.

2.3.2.2 Condições locais

Como comprovado anteriormente, regulamentos locais interferem na extensão da pista. Existem também, condições devido ao local do aeródromo conforme Goldner *et al.*, 2012, que avariam seu comprimento, uma vez que essas afetam diretamente o rendimento da aeronave na decolagem e no pouso, especificamente:

- Ventos;
- Temperatura;
- Declividade da pista;
- Altitude;

Haja vista que exista uma diferença de altitude e temperatura, conseqüentemente uma alteração na pressão. Sendo assim o ar encontra-se mais ou menos denso alterando o valor do vetor de sustentação, além do mais, com a densidade baixa, os motores terão menos oxigênio para combustão, intervindo diretamente no seu rendimento. Portanto é de total importância que o projetista considere e trabalhe com condições desfavoráveis, garantindo assim, a total segurança devido a possíveis imprevistos futuros.

2.3.2.3 Desempenho da aeronave

Os desempenhos das aeronaves afetam propriamente no dimensionamento da pista, isto porque os vínculos entre a eficácia de aceleração, eficácia de alçar voo e a eficácia de frenagem são particularidades de cada avião, ou seja, são variáveis. Por essa razão, é indispensável o conhecimento das particularidades físicas de cada aeronave que irá operar no aeródromo. Como já visto, estas particularidades são as dimensões, sua área de influência e os devidos pesos que são retirados nos Manuais de Operação dos aviões.

2.3.3 Fatores de correção no dimensionamento da pista

Com a finalidade de se obter um dimensionamento preciso da pista de pouso e decolagem, se faz necessário empregar correções no comprimento básico da pista (comprimento de pista imprescindível para o avião decolar e pousar em exigências padrões ISA (*ICAO Standard Atmosphere*)). Conforme a ICAO, 1999, esses valores de correção são determinados dessa maneira:

- Correção da altitude (Ca): É adicionado no comprimento da pista 7% para cada 300 metros de elevação (Equação 1);

$$Ca = \frac{\text{Altitude do Aeroporto}}{300} \times 0,07 + 1 \quad (1)$$

- Correção de temperatura (Ct): Sofrerá um acréscimo no comprimento de pista de decolagem de 1% para cada grau Centígrado que a temperatura de referência (Tr) exceder a temperatura padrão do local (T). Considera-se H a altura do local em metros (Equação 2);

$$T = 15 - 0,0065H$$

$$Ct = 1 + (Tr - T) \times 0,001 \quad (2)$$

- Correção da declividade (Cd): Adicionar no comprimento da pista 10% para cada 1% de declividade longitudinal (Equação 3);

$$Cd = 1 + (\text{Declividade}) \times 0,10 \quad (3)$$

Desta forma, calcula-se a correção geral (Fg) e o comprimento real da pista (Lr) (Equação 4):

$$Fg = Ca \times Ct \times Cd$$

$$Lr = Lb \times Fg \quad (4)$$

Onde Lb é comprimento básico de pista. Vale ressaltar que, se o valor do produto entre Ca e Ct for superior a 35%, cabe realizar um estudo específico.

2.3.4 Código de referência do aeródromo

O código de referência é mesclado por dois elementos referente os atributos de desempenho e dimensões da aeronave. Tem por objetivo possibilitar um método simples e eficaz para associar entre si as especificações relativas às características do aeródromo, de modo a oferecer instalações compatíveis com as aeronaves que operaram no aeródromo. O

primeiro elemento é um número baseado de acordo com o comprimento básico de pista do avião, já o segundo é uma letra baseada na envergadura e na distância entre as rodas externas do trem de pouso principal da aeronave (RBAC nº 154, EMENDA nº 02, ANAC, 2017).

Abaixo se encontra a Tabela 1, concernente ao código de referência do aeródromo, segundo RBAC nº154, EMENDA nº2 (ANAC, 2017):

Tabela 1 – Código de referência do aeródromo

| ELEMENTO 1 DO CÓDIGO | | ELEMENTO 2 DO CÓDIGO | | |
|----------------------|---|----------------------|-------------------------|---|
| Número do código | Comprimento básico de pista requerido pela aeronave | Letra do código | Envergadura | Distâncias entre as rodas externas do trem de pouso principal |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| 1 | Inferior a 800m. | A | Inferior a 15m. | Inferior a 4,5m. |
| 2 | De 800m a 1200m exclusive. | B | De 15m a 24m exclusive. | De 4,5m a 6m exclusive. |
| 3 | De 1200m a 1800m exclusive. | C | De 24m a 36m exclusive. | De 6m a 9m exclusive. |
| 4 | 1800m e acima | D | De 36m a 52m exclusive. | De 9m a 14m exclusive. |
| | | E | De 52m a 65m exclusive. | De 9m a 14m exclusive. |
| | | F | De 65m a 80m exclusive. | De 14m a 16m exclusive. |

Fonte: RBAC nº154, EMENDA nº2 (ANAC, 2017).

Com base no código de referência, se estabelece a largura da pista de pouso/decolagem, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Largura de pista de pouso e decolagem

| NÚMERO DO CÓDIGO | LETRA DO CÓDIGO | | | | | |
|------------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | A | B | C | D | E | F |
| 1 ^a | 18m | 18m | 23m | - | - | - |
| 2 ^a | 23m | 23m | 30m | - | - | - |
| 3 | 30m | 30m | 30m | 45m | - | - |
| 4 | - | - | 45m | 45m | 45m | 60m |

Fonte: RBAC nº154, EMENDA nº2 (ANAC, 2017).

^a A largura da pista de aproximação de precisão não poderá ser inferior a 30 m se o número de código for 1 ou 2.

2.4 CONFIGURAÇÃO DA PISTA DE POUSO E DECOLAGEM

As configurações da pista têm o propósito de garantir segurança para as aeronaves durante as operações, tais como: condição para se livrarem de obstáculos, adequada separação do tráfego aéreo e provisão de pista para vento de través. Conjuntamente, diminuir os atrasos e intervenções nas operações de aeronaves, reduzir custos de construção, e desviar-se de áreas sensíveis a ruídos (GOLDNER *et al.*, 2012).

2.4.1 Orientação da pista

Consoante a RBAC N°2, EMENDA N°2, (ANAC, 2017), existe fatores que influenciam na determinação da orientação da pista de pouso e decolagem, sendo um dos principais, o fator de utilização determinado pela disposição do vento. As pistas deverão ser orientadas de maneira que as aeronaves possam pousar no mínimo 95% do tempo com componente de vento de través (ventos que seguem contra a lateral das aeronaves) inferior ou igual conforme a Tabela 3.

Tabela 3– Componente de vento de través

| Comprimento de Referência da Pista | Componente de Vento de través permitido |
|---|--|
| > 1.500 m | 20 nós |
| 1.200 a 1.499 m | 13 nós |
| <1.200 m | 10 nós |

Fonte: GOLDNER *et al.*, 2012.

2.4.1.1 Método Rosa dos Ventos

A correta orientação pode ser determinada através da análise vetorial gráfica usando o método da Rosa dos Ventos. O qual se constitui de uma série de círculos concêntricos

divididos pela linha radial utilizando um papel com as coordenadas gráficas (HORONJEFF, 1966). Este método considera a concentração dos ventos principais, sendo necessário levar em conta que a orientação da pista será disponibilizada em relação ao norte verdadeiro e sua correção será feita para o norte magnético (ASHFORD, MUMAYIZ & WRIGHT, 2011).

Conforme Goldner *et al.*, (2012), para uma correta determinação gráfica da orientação da pista deve-se seguir o seguinte roteiro:

- I. Conseguir dados de vento de pelo menos cinco anos;
- II. Fazer uma análise e um agrupamento dos dados através da direção e velocidade, conforme Tabela 4;

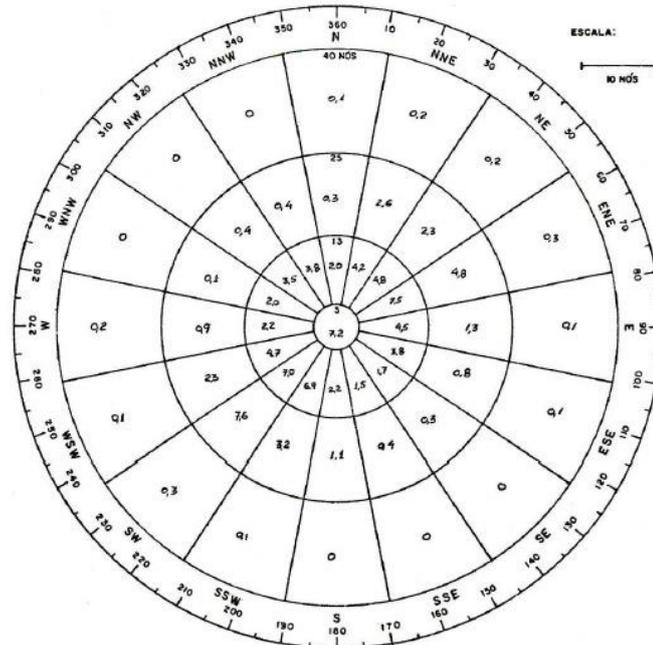
Tabela 4 – Porcentagem de ventos (Exemplo)

| DIREÇÃO DO VENTO | PORCENTAGEM DE VENTOS | | | |
|------------------|-----------------------|------------|-------------|-------------|
| | 0 - 3 nós | 3 - 13 nós | 13 - 25 nós | 25 - 40 nós |
| N | | 2,0 | 0,3 | 0,1 |
| NNE | | 4,2 | 2,6 | 0,2 |
| NE | | 4,8 | 2,3 | 0,2 |
| ENE | | 7,5 | 4,8 | 0,3 |
| E | | 4,5 | 1,3 | 0,1 |
| ESSE | | 3,8 | 0,8 | 0,1 |
| SE | | 1,7 | 0,3 | - |
| SSE | | 1,5 | 0,4 | - |
| S | | 2,2 | 1,1 | - |
| SSW | | 6,9 | 3,2 | 0,1 |
| SW | | 7,0 | 7,6 | 0,3 |
| WSW | | 4,7 | 2,3 | 0,1 |
| W | | 2,2 | 0,9 | 0,2 |
| WNW | | 2,0 | 0,1 | - |
| NW | | 3,5 | 0,4 | - |
| NNW | | 3,8 | 0,4 | - |
| TOTAIS | 7,2 | 62,3 | 28,8 | 1,7 |

Fonte: GOLDNER *et al.*, 2012.

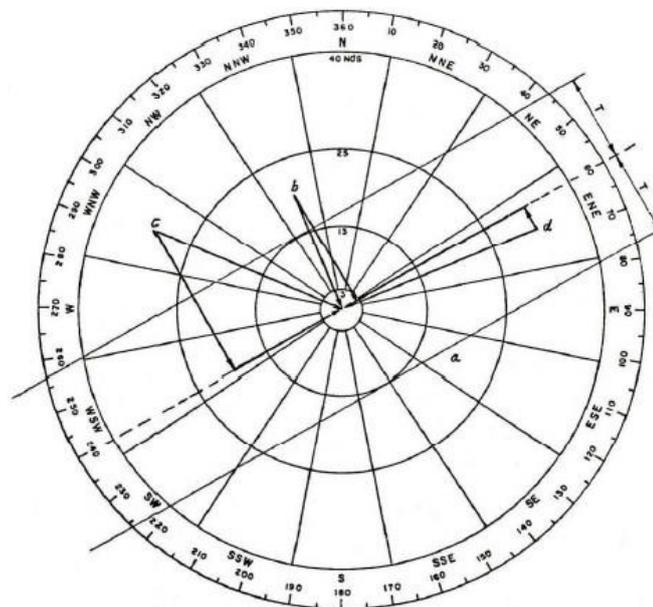
- III. Preencher as porcentagens de vento na Rosa dos Ventos (Figura 12);
- IV. Em um papel transparente traçar três retas paralelas equidistantes, com a mesma escala da Rosa dos Ventos (Figura 13);
- V. Sobrepor-se o papel transparente na Rosa dos Ventos de forma que a linha paralela mediana passe pelo seu centro (Figura 13);

Figura 12 – Anemograma da Tabela4



Fonte: GOLDNER *et al.*, 2012.

Figura 13 – Anemograma com as retas paralelas



Fonte: GOLDNER *et al.*, 2012.

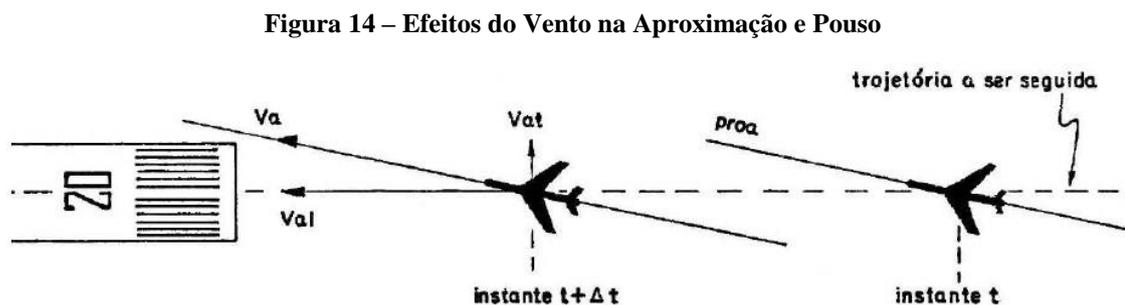
- VI. Girar o papel transparente observando a direção para a qual a soma das porcentagens externas as linhas seja um valor mínimo;
- VII. Leitura da orientação da pista indicada pela linha central do papel transparente;

- VIII. Adaptar a orientação à declinação magnética presente no local, para conseguir o rumo correto da pista;
- IX. Quando ocorrer a porcentagem obtida no passo VI ser superior a 5%, determina-se a orientação da pista de través (pista secundária) da mesma maneira, só que neste caso deverá ser observada a soma das porcentagens de vento que ficaram fora das paralelas que definiram a primeira orientação e das que definirem a segunda orientação da pista;

Levando em consideração o fator vento, vale sempre evidenciar que o número de pistas e a sua orientação devem apresentar um mínimo de 95% de disponibilidade da pista, considerando o tipo de aeronave para o qual a pista está sendo projetada (KAZDA & CAVES, 2007).

Portanto, como regra geral a pista principal deve ser construída e orientada na direção dos ventos predominantes, devido à aeronave só poderão operar quando o vetor do vento perpendicular à direção do deslocamento não for excessiva. Vale ressaltar que o vento cruzado máximo depende de alguns fatores: peso da aeronave, potência dos motores, configuração das asas, entre outros.

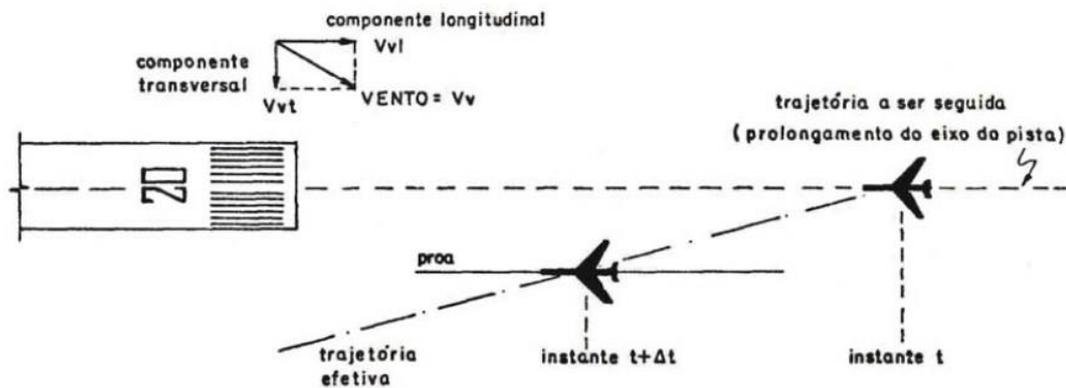
Existe um procedimento que deve ser adotado pelo piloto, proa de coranguejamento, quando possuir vento atravessado na pista, onde é corrigida sua trajetória a ser seguida. Denomina-se assim, pois a aeronave se move para frente, contudo, seu nariz aponta para o lado que o vento vem e não para o eixo da pista, de acordo com a Figura 14.



Fonte: GOLDNER *et al.*, 2012.

Uma vez que, com a presença de vento de través, o piloto desconsiderar tal procedimento e não realizá-lo, a aeronave desajustará em um final curta para pouso (Figura 15).

Figura 15 – Efeitos do Vento sem a correção



LEGENDA:

- (Vv) velocidade do vento;
- (Vvt) componente transversal do vento (perpendicular ao eixo da pista);
- (Vvl) componente longitudinal do vento;
- (Va) velocidade aerodinâmica do avião;
- (Vat) componente transversal da velocidade do avião;
- (Val) componente longitudinal da velocidade do avião;
- (Va solo) velocidade do avião em relação ao solo = $V_{al} - V_{vl}$;

Fonte: GOLDNER *et al.*, 2012.

2.4.2 Número de pistas

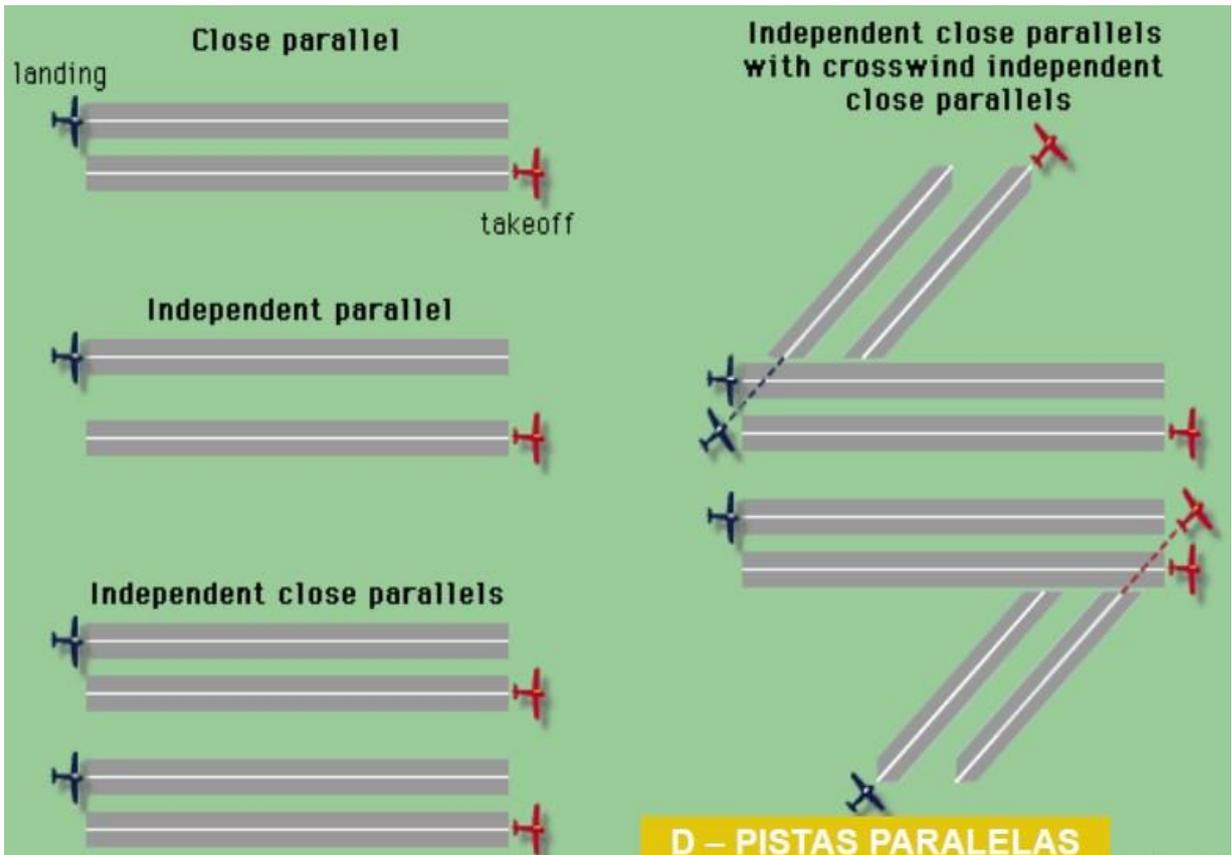
Em algumas situações não será possível que a direção da pista atenda o fator de utilização equivalente aos 95% em função dos ventos. Sendo assim será necessária a implantação de pistas em diferentes direções e alinhadas com os ventos predominantes. Com isso, existem 4 tipos de pistas com intuito de atender esse fator de utilização e a capacidade horária de acordo com as condições de operação do tráfego aéreo (Figura 16 e 17).

Figura 16 – Tipos de pista



Fonte: RATTON *et al.*, 2015.

Figura 17 – Tipos de pista



Fonte: RATTON *et al.*, 2015.

Segundo Ratton *et al.*, (2015):

- Pista única – É uma pista bem posicionada para efeitos de ventos predominantes, ruídos, uso de solo entre outros fatores determinantes.
- Pistas em V – São duas pistas que partem de direções diferentes sem se interceptarem, formando-se um “V”. Utilizadas quando se tem pouca ou nenhuma interferência do vento, quando à presença de ventos fortes apenas uma deverá ficar disponível para operação.
- Pistas cruzadas – Quando duas ou mais pistas se interceptam. Utilizadas em ocasião da existência de ventos muito fortes no local em mais de uma direção, sendo limitadas as operações em apenas uma pista. Ambas poderão ser aproveitadas ao mesmo tempo desde que os ventos sejam moderados.
- Pistas paralelas – Há 4 tipos de pistas paralelas que são designadas de acordo com o espaçamento entre os seus eixos. Sendo elas:
 - *Close parallels*: Espaçamento de 2500 pés (750 m);
 - *Intermediate parallel runways*: Espaçamento de 2500 pés a 4300 pés (750 m a 1290 m);
 - *Far parallel runway*: Espaçamento superior a 4300 pés (1290 m);
 - *Dual-line runways*: Espaçamento igual ou superior a 4300 pés (1290 m), entre cada par de pistas;

1 pé é aproximadamente 0,3 m.

2.4.3 Capacidade das pistas

Em conformidade com as condições do tráfego aéreo existente no local é possível definir a capacidade horária de uma determinada configuração de pista, podendo ser:

- VISUAL: *Visual Flight Rule* (VFR)
- POR INSTRUMENTOS: *Instrument Flight Rule* (IFR)

Conforme a Tabela 5:

Tabela 5 – Capacidades horárias estimadas

| Configuração de Pistas | Afastamento (m) | Capacidade Horária | |
|--------------------------------|-----------------|--------------------|-----------|
| | | VFR | IFR |
| Pista única | - | 50 - 100 | 50 - 60 |
| Duas Paralelas | | | |
| Próximas | < 760 | 85 - 200 | 55 - 60 |
| Intermediárias | 760 – 1309 | 100 - 200 | 60 - 75 |
| Distantes | >1310 | 100 - 200 | 100 - 120 |
| Duas Interceptantes (*) | | | |
| Interseção próxima | < 610 | 70 - 110 | 55 - 65 |
| Interseção mediana | 610 – 1525 | 55 - 105 | 50 - 60 |
| Interseção distante | > 1525 | 50 - 100 | 50 - 60 |
| Em "V" aberto | | | |
| Convergente | - | 65 - 160 | 50 - 60 |
| Divergente | - | 70 - 170 | 55 - 70 |

Fonte: GOLDNER *et al.*, 2012.

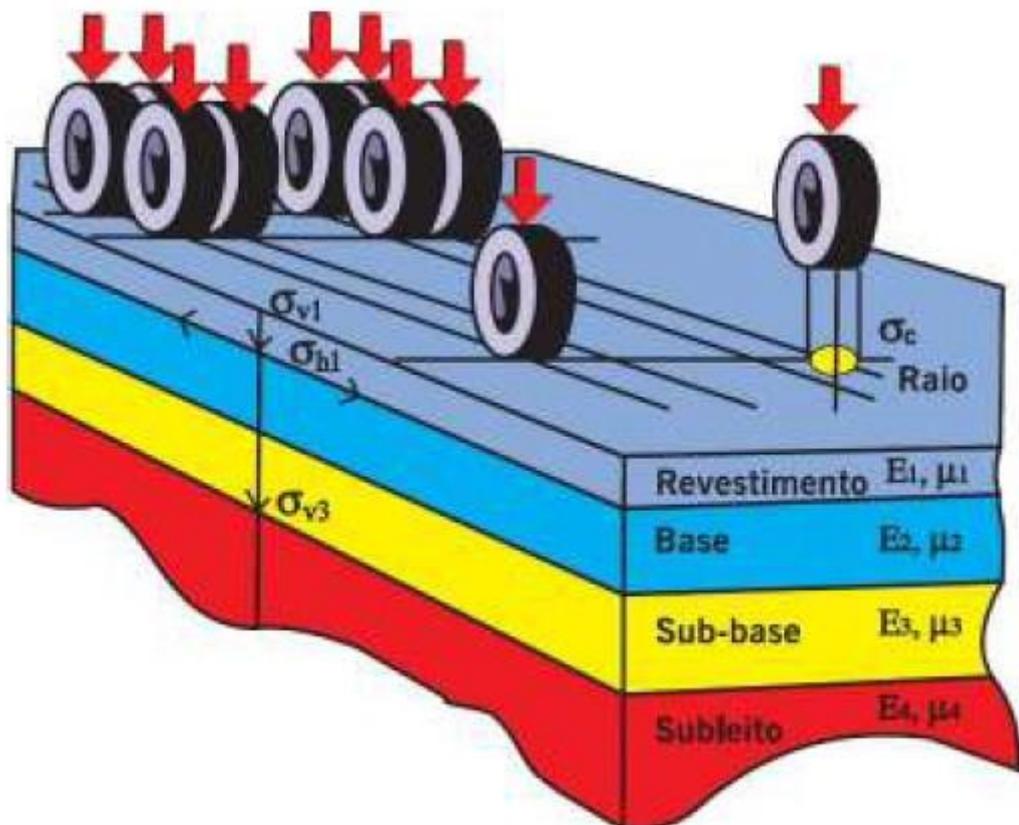
3 PAVIMENTAÇÃO DE AEROPORTOS

O solo não possui resistência necessária, na sua forma natural, para sujeitar-se a carga de roda, repetidas vezes, sem sofrer deformações. Portanto, é imprescindível a implantação de uma estrutura, pavimento, o qual é elaborado sobre o solo natural (subleito) constituído de uma ou mais camadas, com objetivos de distribuir as solicitações de cargas das aeronaves para suas camadas e o subleito, oferecer conforto e segurança operacionais e, suportar os esforços horizontais (desgaste).

Conforme Medina e Motta (2005) consideram-se duas categorias de pavimentos: rígidos e flexíveis.

- Flexíveis – usualmente são constituídos por quatro camadas: revestimento, base, sub-base e subleito. Observa-se a Figura 18.

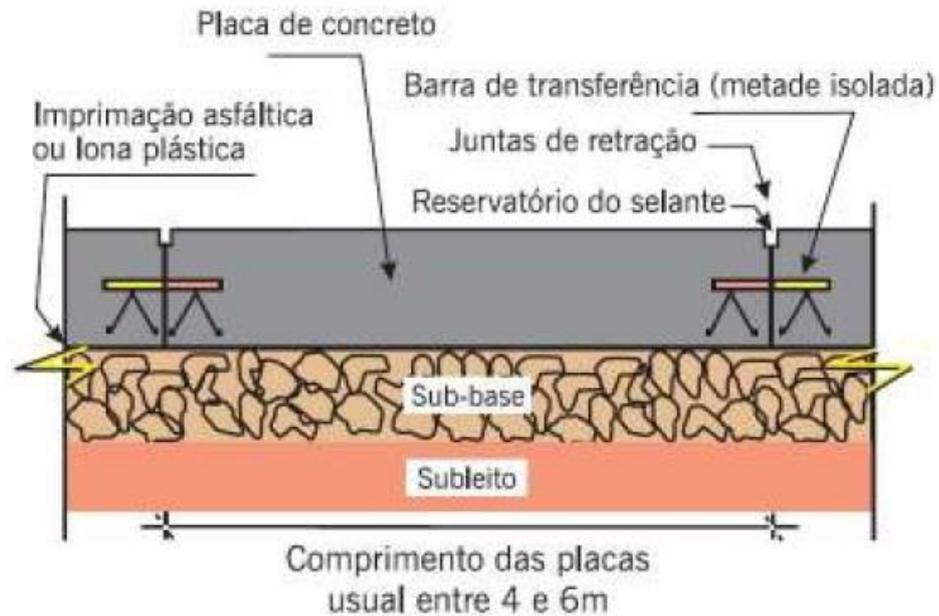
Figura 18 – Sistema de camadas de um pavimento flexível



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006.

- Rígidos – Geralmente é constituído por três camadas: revestimento, sub-base e subleito. Conforme a Figura 19.

Figura 19 – Sistema de camadas de um pavimento rígido

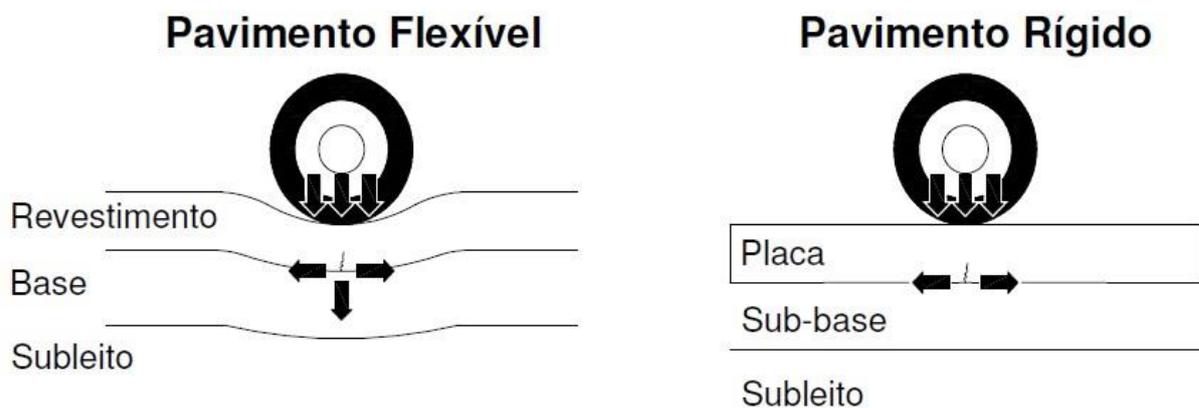


Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006.

3.1 MECÂNICA DOS PAVIMENTOS

Medina e Motta (2005) trás a seguinte definição, “mecânica dos pavimentos é uma disciplina da engenharia civil que estuda os pavimentos como sistemas em camadas e sujeita a cargas dos veículos. Faz-se o cálculo de tensões, deformações e deslocamentos, conhecidos os parâmetros de deformabilidade, geralmente com a utilização de programas de computação. Verifica-se o número de aplicações de carga que leva o revestimento asfáltico ou a camada cimentada à ruptura por fadiga” (Figura 20).

Figura 20 – Deformação devido a um carregamento aplicado



Fonte: GOLDNER *et al.*, 2012.

3.2 DIMENSIONAMENTO DOS PAVIMENTOS

Em todos os aeroportos há uma área sujeita a maior movimentação de aviões, pesos mais elevados na decolagem, velocidades baixas dos aviões e um grau de canalização maior. Estes são fatores relacionados aos requisitos de dimensionamento do pavimento, o qual terá sua área escolhida como local de projeto, onde será determinada sua espessura máxima (INSTITUTO DE ASFALTO, 2001).

Existem deformações específicas que são impostas ao pavimento derivadas do (a): tipo de aeronave, número de passageiros do avião, carga do trem de pouso (Figura 21) e distribuição transversal na área de projeto.

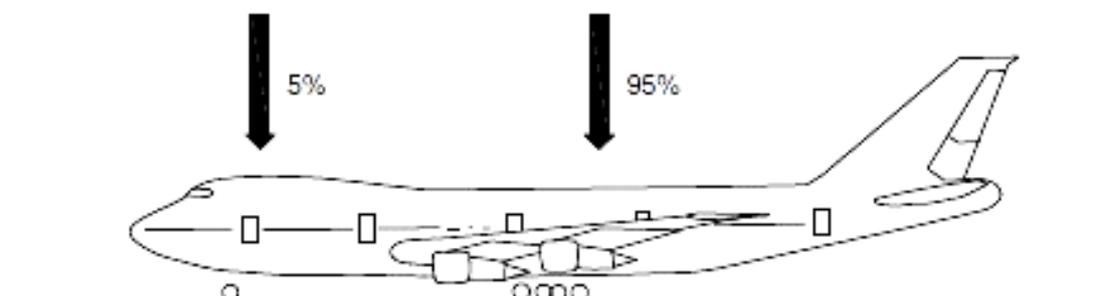
Figura 21 – Tipos de trem de pouso



Fonte: GOLDNER *et al.*, 2012.

Segundo Goldner *et al.*, 2012, 95% do peso bruto da aeronave são carregados pelo trem de pouso principal como podemos ver na Figura 22 à seguir.

Figura 22 – Carregamento por roda



Fonte: GOLDNER *et al.*, 2012.

O peso de uma aeronave de acordo com Medina e Motta (2005) se divide em parcelas, sendo elas:

1. Peso vazio de operação (avião, tripulação e equipamento de voo): 45%;
2. Carga paga (passageiros, mala postal e carga): 14%;
3. Reserva de combustível: 6%;
4. Combustível: 35%.

Onde a somatória dos três primeiros respectivamente, corresponde ao peso de pouso, e a somatória de todos é o peso bruto de decolagem.

O método de dimensionamento de pavimentos de aeroportos é o recomendado pela *Federal Aviation Administration* (FAA) dos EUA, descrito pela *Advisory Circular* (AC) 150/5320 – 6F (FAA, 2016), a qual cancelou a (AC) 150/5320 – 6E (FAA, 2009) que também havia substituído sua antecessora (AC) 150/5320 – 6D (FAA, 1995) a qual fazia, para dimensionamento dos pavimentos, uso de ábacos das aeronaves e aeronave de projeto. Ambas circulares (AC) 150/5320 – 6F (FAA, 2016) e (AC) 150/5320 – 6E (FAA, 2009), então, passaram a adotar o programa FAARFIELD criado pela FAA e aceitas pela ICAO, que adere a concepção do dimensionamento por camadas elásticas e considera o efeito acumulativo de todas as aeronaves sobre o pavimento em estudo.

O FAARFIELD (*Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layered Design*) é um software que executa os cálculos automaticamente como base, em casos de pavimentos flexíveis, utilização de um modelo estrutural de multicamadas elásticas e lineares, e para pavimentos rígidos, elementos finitos tridimensionais (VIEIRA, 2015). Este programa possui modelos mais avançados fundamentados em efeitos de ensaios utilizando escala real com perfis complexos de trem de aterragem.

Para efeitos comparativos, será demonstrado também outro software, *FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN* (2002), projetado totalmente em Excel que tem por finalidade dimensionar espessuras de revestimento de pavimento flexível de acordo com a (AC) 150/5320 – 6D. Realiza o cálculo em poucas etapas, aonde o usuário vai inserindo parâmetros de entrada em cada uma delas.

Além dos cálculos alcançados pelos softwares, este trabalho contará com resultados obtidos através do método do CORPO DE ENGENHEIROS AMERICANOS (USACE), onde se utiliza o conceito da aeronave de projeto e se emprega os ábacos estabelecidos para diversas aeronaves genericamente ou especificamente. Este método era utilizado anteriormente e que estava na circular (AC) 150/5320 – 6D (FAA, 1995), indicado para

alunos que estão se iniciando no projeto de pavimentos aeroportuários, para um melhor aprendizado (GOLDNER *et al.*, 2012).

4 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL DO AEROPORTO DE CARGAS DE ANÁPOLIS – GO

O dimensionamento de pavimento de aeroporto é um processo minucioso, onde requer conhecimento das propriedades do solo e conseqüentemente os elementos estruturais a partir de ensaios de laboratório, assim como, estudos de tráfico adequado com o tipo de aeronave de operação e a demanda anual (QUIÑONES, 2012).

Este capítulo tem por finalidade realizar uma comparação dos métodos da Administração Federal de Aviação dos Estados Unidos (*Federal Aviation Administration – FAA*), demonstrando a evolução com os resultados obtidos, visto que, o método de cálculo de pavimento disponibilizado pela FAA, vem ocorrendo mudanças com decorrer dos anos.

4.1 O MUNICÍPIO DE ANÁPOLIS

Anápolis é um município localizado no estado de Goiás, região Centro-Oeste do país, próximo à capital Goiânia, cerca de 50 km, e a 140 km da capital federal, Brasília. Considerada a terceira maior cidade do estado, com a população estimada (2018) de 381.970 e em seu último censo (2010) de 334.613 pessoas. Conceituada a segunda maior potência econômica de Goiás, ficando atrás somente da capital, com PIB de 13.301,496 bilhões (2015) (IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2018). Em 1976 a cidade se fixou como polo industrial com a inauguração do Distrito Agroindustrial de Anápolis (DAIA), tendo destaque no ramo farmacêutico. O DAIA é apontado como um dos polos industriais, do interior brasileiro, de melhor infraestrutura (BARBOSA, 2009).

A cidade possui grande potencial logístico devido ser cortada por importantes rodovias, tanto federal quanto estaduais, conforme descrito pelo DNIT (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, 2015), sendo elas:

- Federais:
 - BR-153: Conhecida como Rodovia Transbrasiliana possui um total de 4.355 quilômetros de extensão, sendo a quarta maior rodovia do país, interligando os estados do Pará, Tocantins, Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul;
 - BR-060: É uma rodovia radial (rodovias federais que partem de Brasília com destino as extremidades do país), com 1.459 quilômetros de extensão, conectando o Distrito Federal e os estados de Goiás e Mato Grosso do Sul;

- BR-414: Esta rodovia possui aproximadamente 412 quilômetros de extensão, faz ligação com os municípios desde Niquelândia (GO) até Anápolis (GO) e também com o Distrito Federal;
- Estaduais:
 - GO-222;
 - GO-330;
 - GO-437;
 - GO-560;

Além das Rodovias Federais e Estaduais, Anápolis conta a também com a Ferrovia Centro-Atlântica (FCA), e é ponto inicial da Ferrovia Norte Sul.

Com isso, à construção do Aeroporto de Cargas de Anápolis será uma alavanca para o desenvolvimento da cidade e do estado, pois integrará o projeto da Plataforma Logística Multimodal de Goiás, trazendo mais velocidade no processo de importação/exportação. Devido sua localização estratégica no estado de a Goiás, o aeroporto funcionará como um centro de distribuição para o país, pois em pouco mais de uma hora é possível percorrer um raio de 1.300 quilômetros, por via aérea, e atingir 150 milhões de consumidores. Sendo assim, irá introduzir Goiás em posição de destaque no cenário econômico mundial (VANDERIC, 2017).

4.2 CARACTERÍSTICAS DO AEROPORTO

Para uma melhor visualização do Aeroporto de Cargas de Anápolis, encontra-se a seguir uma esquematização das características da Pista (Figura 23).

Figura 23 – Características da Pista



Fonte: VANDERIC, 2017.

4.3 AERONAVES DE PROJETO

De acordo com Bernucci *et al.*, (2006), a principal função dos pavimentos é de certificar capacidade estrutural e funcional ao rolamento seguro das aeronaves que estão previstas para operarem no aeroporto.

As aeronaves aqui apresentadas foram definidas na fase de planejamento do projeto, são predominantemente de grande porte e destinadas ao transporte de carga. Suas principais características (podem ser obtidos através dos manuais de cada aeronave) e frequências de operação estão detalhadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Mix de aeronaves previstas para operarem no aeroporto de Anápolis-GO

| Aeronave | Motor | Tipo de Trem de Pouso | Peso Máximo Admissível | Frequência Anual |
|-----------------|-------------|-----------------------|------------------------|------------------|
| Boeing 727-100 | JT8D-7/9 | Rodas duplas | 170.000 lbs | 200 |
| Boeing 707-320C | JT3D-3B | Duplo tandem | 336.000 lbs | 200 |
| Douglas MD11 | CF6-80C2D1F | Duplo tandem / belly | 633.000 lbs | 550 |
| Boeing 747-300 | CF6-50E2 | 2 x Duplo tandem | 836.000 lbs | 550 |
| Boeing 747-400 | CF6-80C2B1F | 2 x Duplo tandem | 877.000 lbs | 3.000 |

Fonte: AGETOP, 2018.

4.4 CARACTERÍSTICAS DO SUBLEITO

Consoante AGETOP (AGÊNCIA GOIANA DE TRANSPORTES E OBRAS PÚBLICAS, 2018), foram realizados levantamentos geotécnicos de campo e laboratoriais necessários para elaboração do Projeto Executivo do aeroporto do município de Anápolis - GO. Estes levantamentos contemplaram os seguintes serviços:

- Execução de furos de sondagem a trado;
- Ensaio de umidade natural;
- Ensaio de compactação com a energia do Proctor Modificado;
- Ensaio físicos de limite de liquidez e limite de plasticidade;
- Ensaio de granulometria por peneiramento e sedimentação;
- Ensaio de densidade real dos grãos.

Com a obtenção do relatório de sondagem percebe-se que existem dois tipos básicos de solo de fundação ou subleito que irão receber a estrutura dos pavimentos do aeroporto, quais sejam o solo argiloso e o cascalho laterítico. Apartir do relatório de Estudos Geotécnicos conclui-se que todas as amostras coletadas e ensaiadas apresentaram baixa expansão e boa capacidade de suporte. Sendo assim, os solos de subleito são adequados para receber as cargas do pavimento, não havendo necessidade de substituição ou tratamento de solos (AGETOP, 2018).

As características dos solos presentes no subleito foram identificadas pelos ensaios ditos anteriormente e estão apresentados resumidamente na Tabela 7, agrupados pelo tipo de material.

Tabela 7 – Resumo dos resultados dos ensaios geotécnicos do solo do Subleito

| Material | Número de Amostras | Compactação | | CBR Médio Final | Desvio Padrão da Amostra | X _{mín} |
|----------------------------|--------------------|---------------|------------------|-----------------|--------------------------|------------------|
| | | Umidade Ótima | Densidade Máxima | | | |
| Cascalho Laterítico | 62 | 15,20% | 1,901 | 42% | 12% | 32% |
| Solo Argiloso | 41 | 23,30% | 1,606 | 21% | 10% | 12% |

Fonte: AGETOP, 2018

Dados resultados dos parâmetros apresentados, é possível identificar que o solo argiloso possui uma capacidade de suporte inferior ao do Cascalho Laterítico. Tendo em vista que a ocorrência do solo argiloso se deu em cerca de 40% das amostras coletadas, as

estruturas dos pavimentos serão dimensionadas considerando sua característica de suporte mínima, obtida estatisticamente, ou seja, $X_{mín} = 12\%$. Portanto, o índice CBR do Subleito adotado para projeto será de $CBR = 12\%$ (AGETOP, 2018).

4.5 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL

O pavimento flexível a ser construído destina-se ao movimento de aeronaves para o taxiamento, acesso ao Pátio de Cargas e a Pista de Pouso/Decolagem. Nessas áreas, as aeronaves manobram em velocidades maiores, e requerem um conforto maior ao rolamento e melhores condições de atrito. Sendo assim, a solução mais econômica e mais utilizada para o pavimento é a estrutura com revestimento em concreto betuminoso usinado a quente – CBUQ (AGETOP, 2018).

Para o dimensionamento serão utilizados os dados de tráfego de aeronaves e a caracterização do subleito, conforme descrito anteriormente.

4.5.1 Materiais das camadas da estrutura do pavimento flexível

As camadas do pavimento flexível deverão utilizar materiais selecionados e com as qualidades descritas a seguir.

4.5.1.1 Material para a Sub-base

A sub-base deverá ser construída com solo laterítico granular, podendo ser o solo das análises do levantamento geotécnico e classificadas como cascalho laterítico presente na área do aeroporto. Consoante AGETOP (2018), deverá ser construída com as seguintes características:

- Índice CBR $\geq 20\%$
- Expansão $\leq 1,0\%$

Para fins de dimensionamento, serão utilizados os materiais com valores referentes à especificação P-154, camada de sub-base, da *Advisory Circular (AC) 150/5370-10F - Standards for Specifying Construction Of Airports* (2011).

4.5.1.2 Material para a Base

A Base deverá ser construída com material estabilizado, podendo ser BGTC (Brita Graduada Tratada com Cimento) ou concreto rolado (AGETOP, 2018).

Os materiais utilizados referem-se à especificação P-306, misturas asfálticas, da *Advisory Circular (AC) 150/5370-10F – Standards for Specifying Construction Of Airports* (2011).

4.5.1.3 Material para o Revestimento

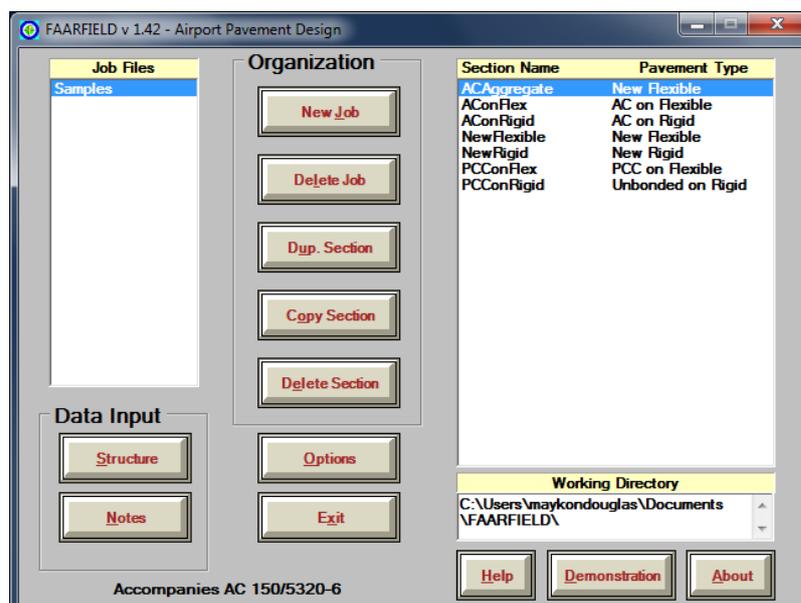
O revestimento do pavimento flexível consistirá de duas camadas de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) (AGETOP, 2018).

Os valores referem-se à especificação P-401, camada de base rígida, da *Advisory Circular (AC) 150/5370-10F - Standards for Specifying Construction Of Airports* (2011).

4.5.2 Dimensionamento do pavimento pelo software FAARFIELD (Versão 1.42)

Partindo-se dos dados obtidos anteriormente é possível dimensionar o pavimento flexível do Aeroporto de Cargas de Anápolis-GO, com o auxílio do programa FAARFIELD. Observa-se a interface do *software* conforme a Figura 24.

Figura 24 – Interface do FAARFIELD (Versão 1.42)



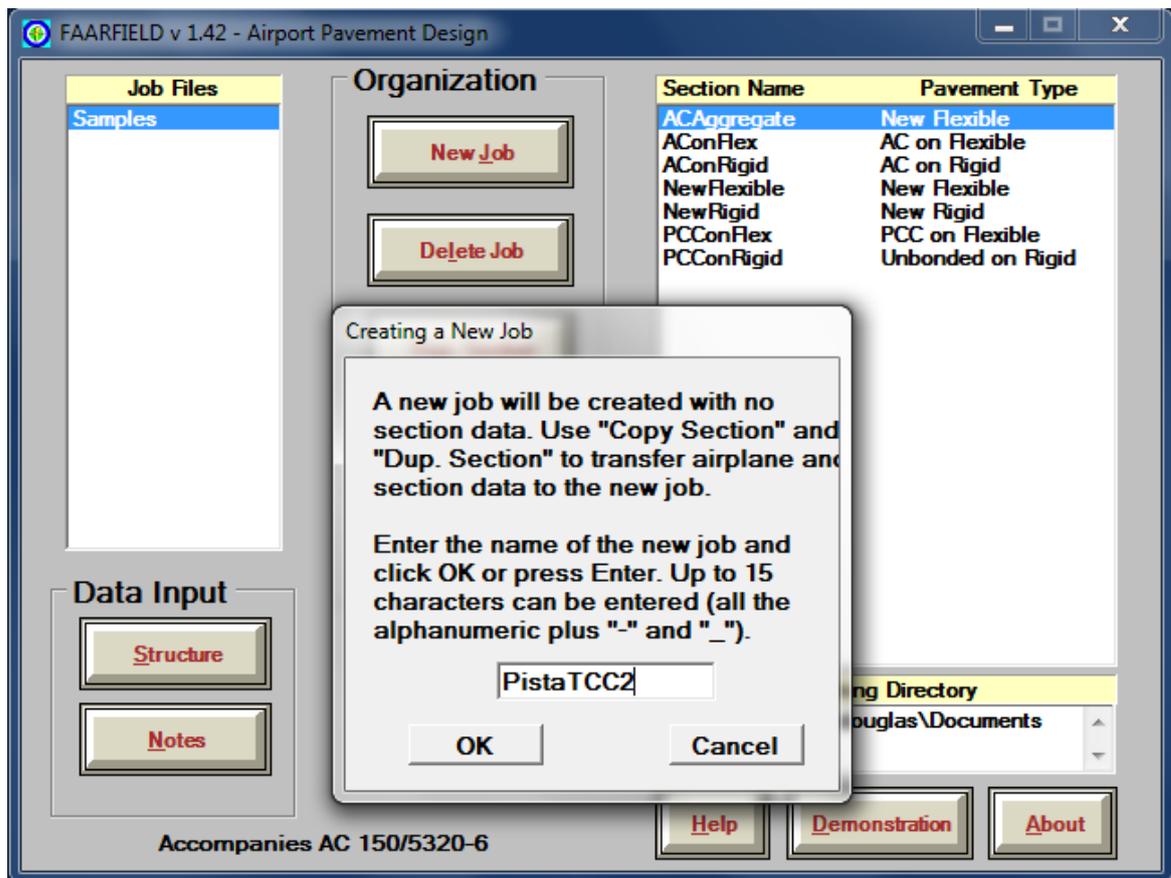
Fonte: FAARFIELD, 2018.

Constata-se na janela *Job Files* um registro titulado *Samples*, que possui uma biblioteca de amostras que são utilizadas para dimensionamento do pavimento conforme necessário.

Iniciando-se o projeto:

- I. Na aba *Organization* cria-se um novo trabalho clicando-se em *New Job*, onde se intitulou o nome PistaTCC2 (Figura 25).

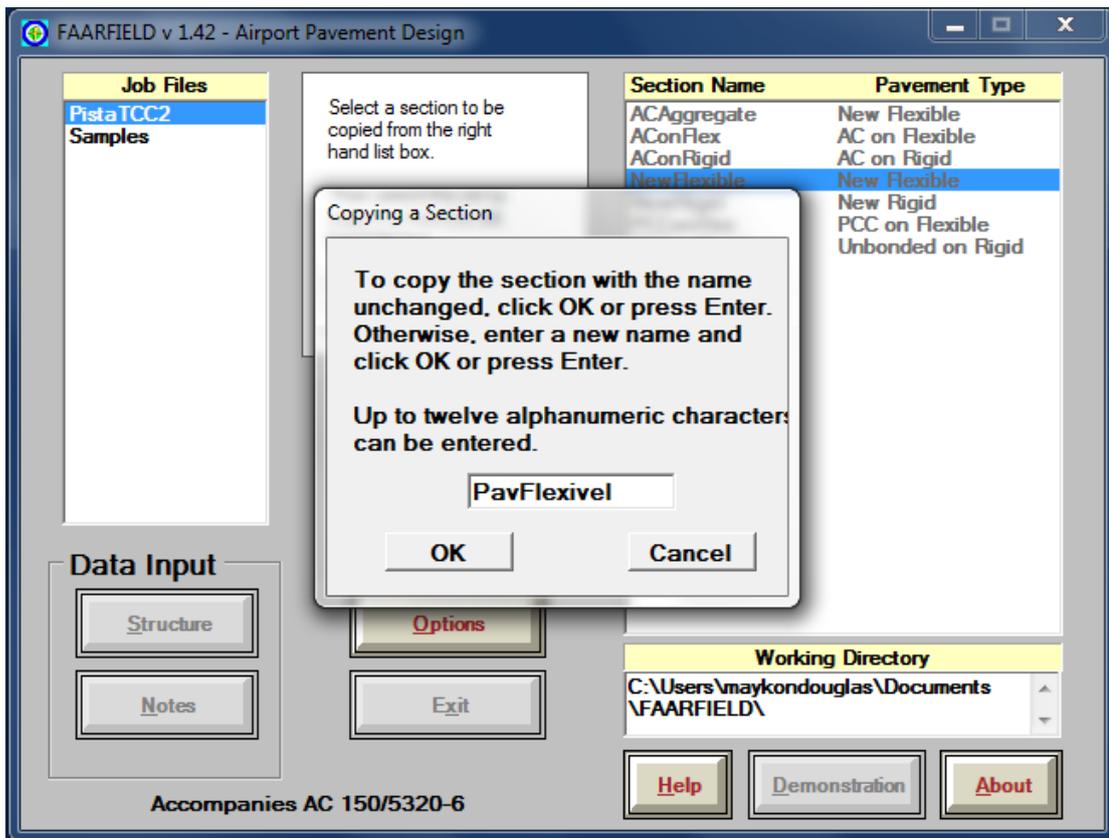
Figura 25 – Criando um novo trabalho



Fonte: FAARFIELD, 2018.

- II. Em *Sample*, selecione o tipo de pavimento que será utilizado, em questão “*New Flexible*”, em seguida clique em *Copy Setione* depois no trabalho criado (PistaTCC2). Abrirá uma nova janela onde se colocará o nome do projeto (Figura 26), por fim clique em *End Copy*.

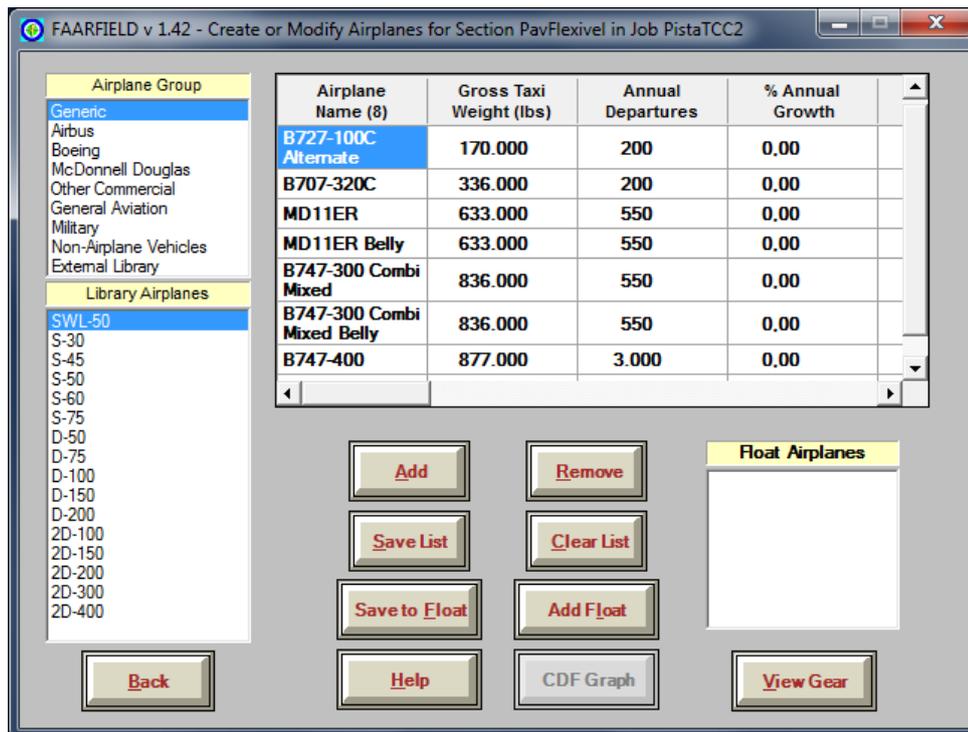
Figura 26- Caracterização do pavimento



Fonte: FAARFIELD, 2018.

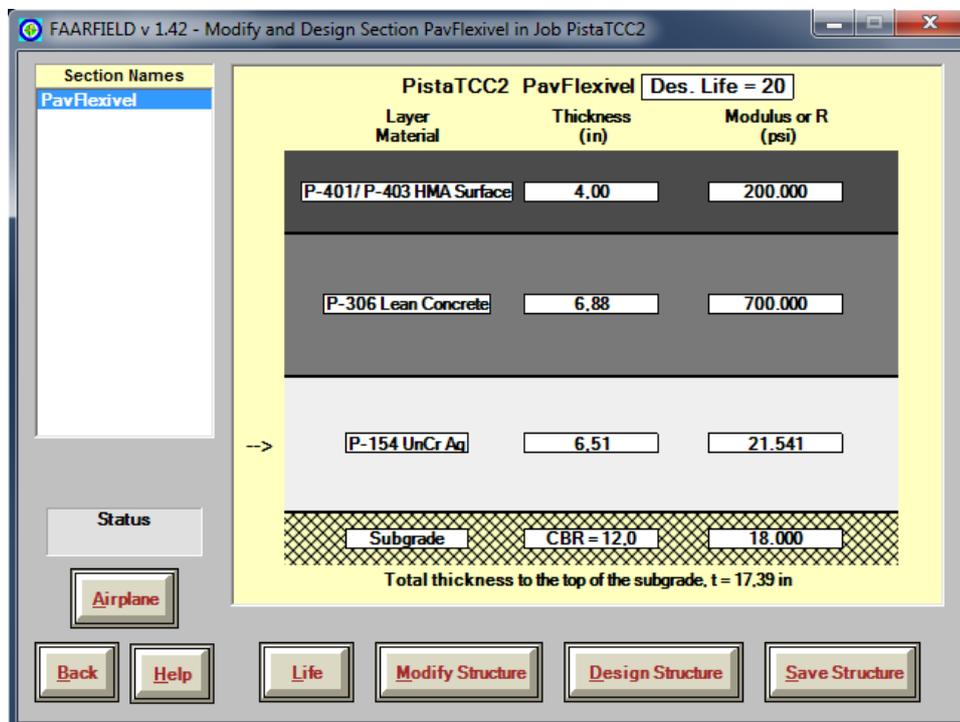
- III. Para continuar com o dimensionamento, selecione o trabalho criado e clique em *Structure*. Nesta janela será possível configurar a estrutura das camadas do pavimento, inserir o conjunto de aeronaves, entre outras funções.
- IV. Com esta janela aberta clique em *Airplane*, para adicionar as aeronaves que irão operar no aeroporto. Nesta, é possível adicionar ou remover as aeronaves, com as ferramentas *Add* e *Remove*. Do lado esquerdo encontra-se uma biblioteca vasta com vários modelos (Figura 27). E também, deve-se informar a frequência anual de cada uma, para isso basta um duplo clique em *Annual Departures*. Com os dados inseridos clique em *Save List* e retorne para a tela anterior em *Back*.
- V. Após adicionar o combo de aeronaves, e voltar ao *menu* (Figura 28), consegue-se alterar os materiais de cada camada, bem como espessura desejada, o CBR da sub-base e o período de projeto, bastando um duplo clique em cima dos itens.

Figura 27 – Mix de aeronaves



Fonte: FAARFIELD, 2018.

Figura 28 – Materiais das camadas



Fonte: FAARFIELD, 2018.

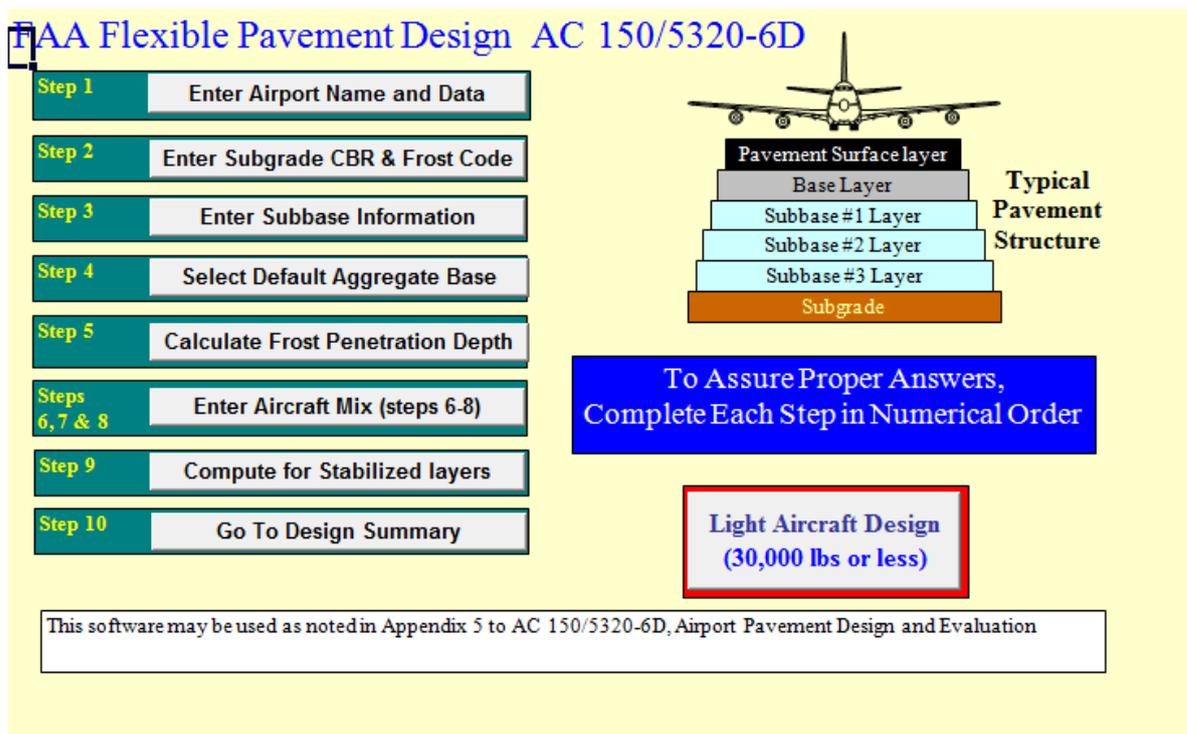
- VI. Com todas as informações já inseridas, para prosseguir com o dimensionamento, basta clicar em *Design Structure*, dessa maneira obtem-se a dimensão do

pavimento. Após isso, volte para tela inicial clicando em *Back*, nesta possui uma ferramenta chamada *Note*, onde se encontra um relatório com os resultados do dimensionamento em questão.

4.5.3 Dimensionamento através do Software FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN

Serão considerados para o dimensionamento do pavimento os mesmos materiais e demais informações abordadas anteriormente. Antes de prosseguir, verifica-se a tela inicial do programa na Figura 29.

Figura 29 – Tela inicial do software

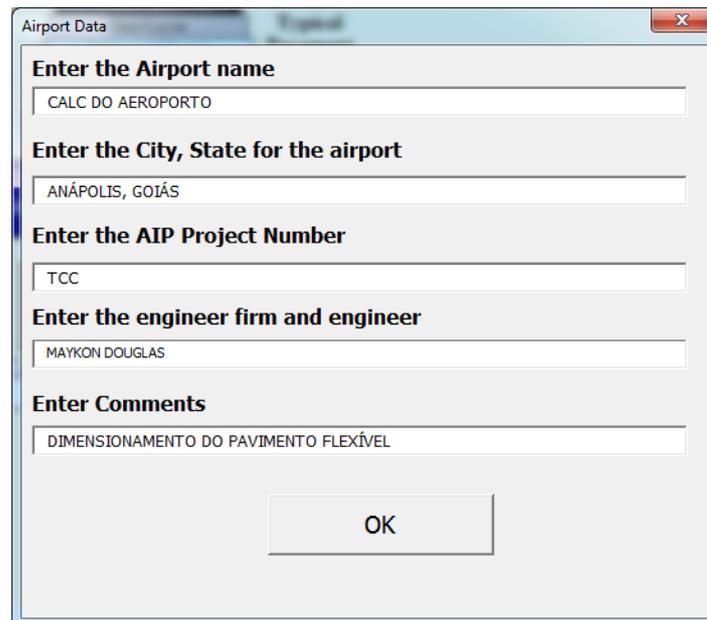


Fonte: FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN, 2018.

O dimensionamento é obtido de maneira simples através deste método, bastando seguir as 10 etapas, uma por uma, apresentadas na tela inicial como visto anteriormente. Sendo elas então:

- *Step 1*: é onde se insere os dados iniciais do projeto (Figura 30);

Figura 30 – Dados iniciais do projeto



Airport Data

Enter the Airport name
CALC DO AEROPORTO

Enter the City, State for the airport
ANÁPOLIS, GOIÁS

Enter the AIP Project Number
TCC

Enter the engineer firm and engineer
MAYKON DOUGLAS

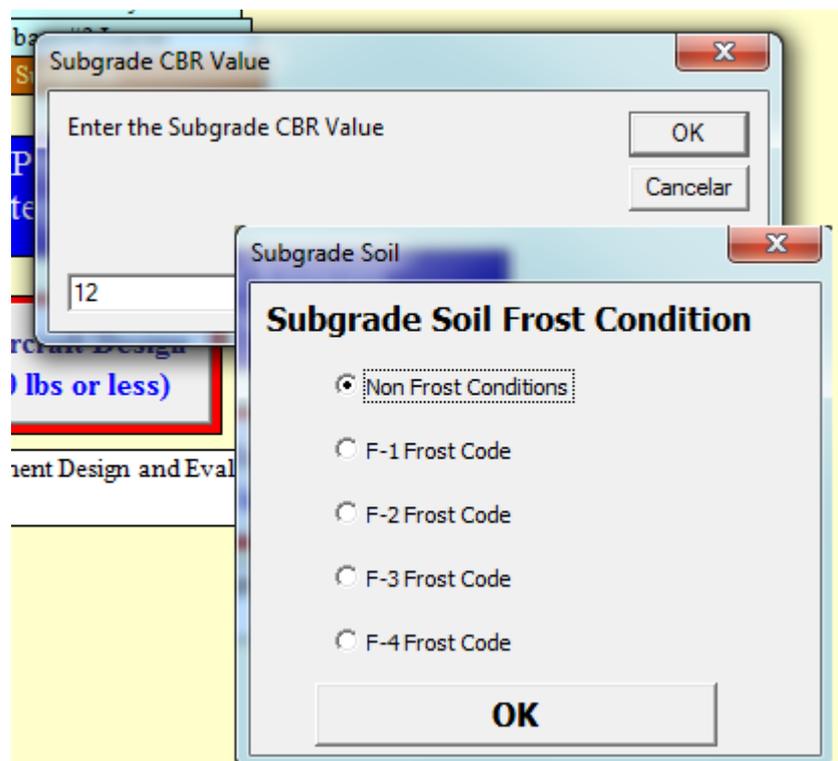
Enter Comments
DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL

OK

Fonte: FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN, 2018.

- *Step 2*: destinado para inserção do CBR do subleito, e após, mostra parâmetros relativos à geada, deixe marcado *Non Frost Conditions*, pois não há problemas referentes a isso na região (Figura 31);

Figura 31 – Step 2



Subgrade CBR Value

Enter the Subgrade CBR Value

12

OK
Cancelar

Subgrade Soil

Subgrade Soil Frost Condition

Non Frost Conditions

F-1 Frost Code

F-2 Frost Code

F-3 Frost Code

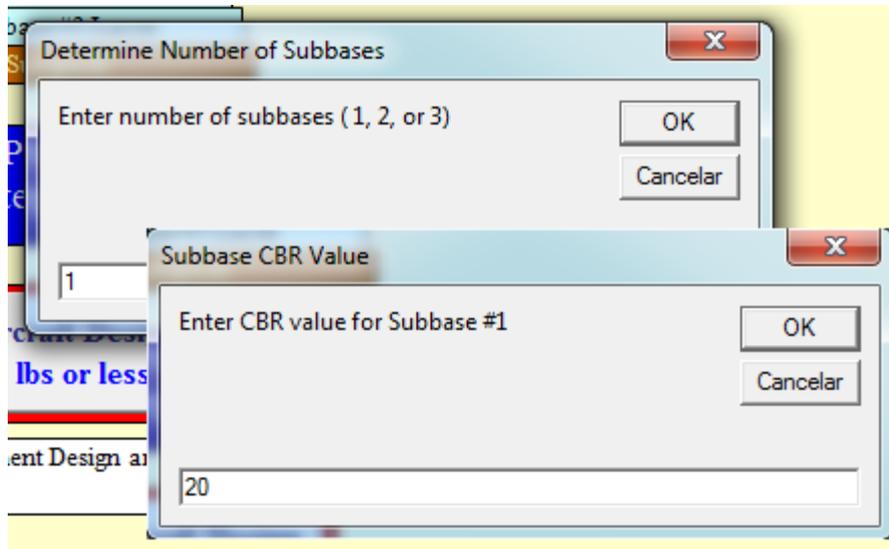
F-4 Frost Code

OK

Fonte: FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN, 2018.

- *Step 3*: designado para o número de sub-bases desejada e seu respectivo valor do CBR (Figura 32);

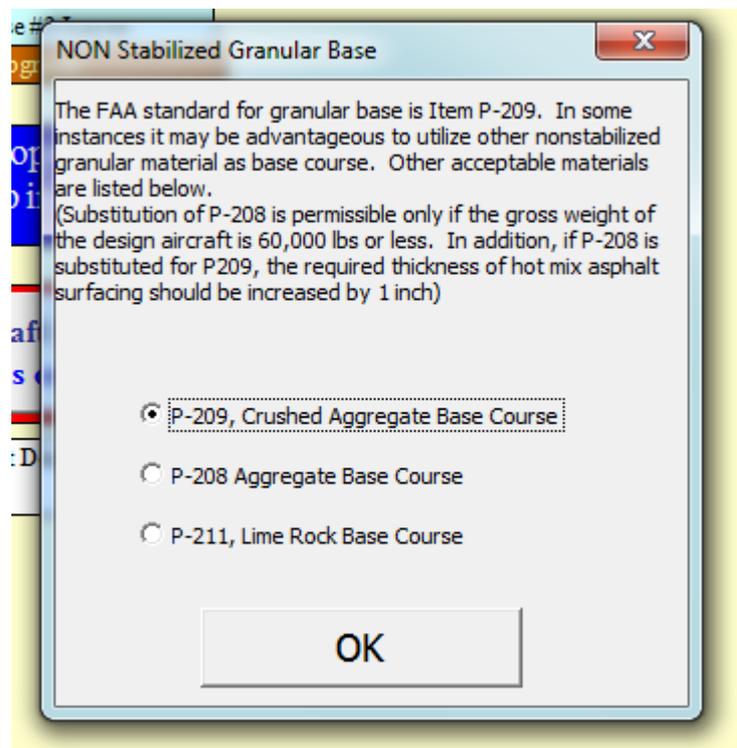
Figura 32 – Step 3



Fonte: FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN, 2018.

- *Step 4*: insere o tipo de agregado da base (Figura 33);

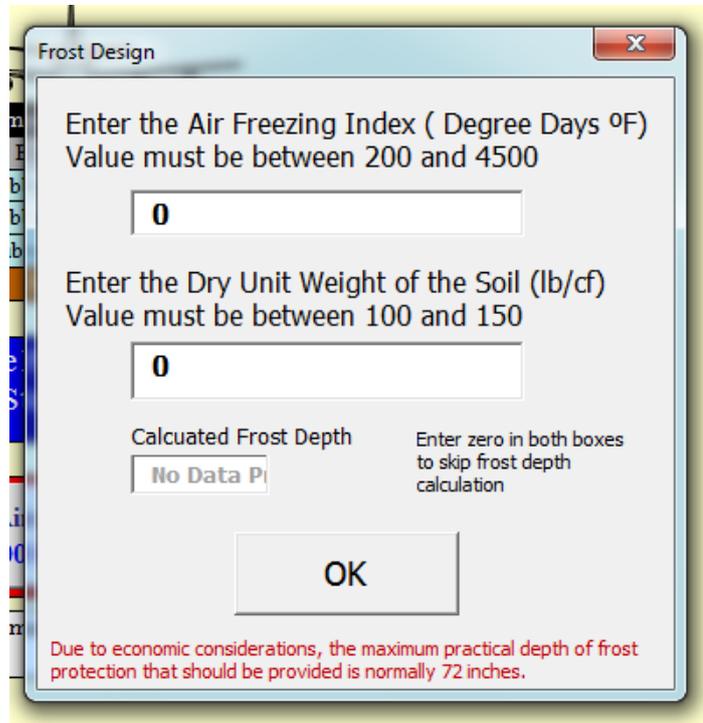
Figura 33 – Step 4



Fonte: FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN, 2018.

- *Step 5*: referente a profundidade de geada, porém, como não há problemas com isso, inseri-se 0 (zero) para ambos (Figura 34);

Figura 34 – Step 5



Fonte: FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN, 2018.

- *Step 6, 7 e 8*: neste caso as etapas serão feitas juntas, destinado para introdução do conjunto de aeronaves que irão operar sobre o pavimento, bem como sua frequência anual (Figura 35). *Step 7*, ao ser clicado o software irá calcular a espessura do pavimento de cada aeronave (assinalado em azul);

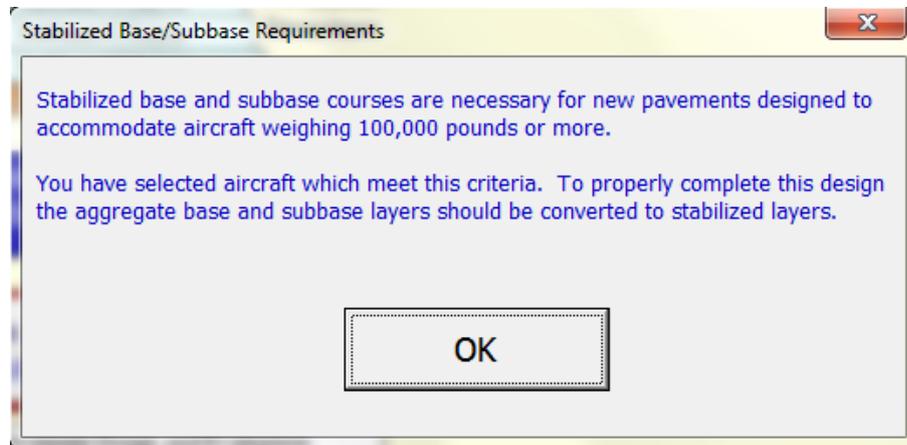
Figura 35 – Step 6, 7 e 8

| Step 6 ENTER AIRCRAFT DATA | | Step 7 Find Required Thickness For Each Aircraft | Step 8 Accept Critical Aircraft (Return) |
|--|--|--|---|
| Enter up to 21 aircraft (in any order) also enter Max weight & Annual Departures | | | |
| Clear All aircraft Information | User's name for Aircraft (optional) e.g. Citation IV | Aircraft grouping --- Clear type AC 150/5320-6D Default Weight | Max Takeoff weight MTOW Annual Departures Thickness Required for Each Individual Aircraft |
| | BOEING 727-100 | BOEING727 - 175,000 lbs | 170.000 200 16,55 |
| | BOEING 747-300 | BOEING747 - 780,000 lbs | 836.000 550 24,52 |
| | DOUGLAS MD11 | DC-10-30 - 590,000 lbs | 633.000 550 25,04 |
| | BOEING 747-400 | BOEING747 - 780,000 lbs | 877.000 3.000 27,33 |
| | BOEING 707-320C | BOEING757 - 400,000 lbs | 336.000 200 19,48 |
| | | NONE | 0 0 0,00 |
| | | NONE | 0 0 0,00 |

Fonte: FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN, 2018.

Por conta das aeronaves que foram inseridas no software, será necessário estabilizar as camadas, pois ultrapassam 100.000 libras, conforme avisado após clicar em *Step 8* (Figura 36).

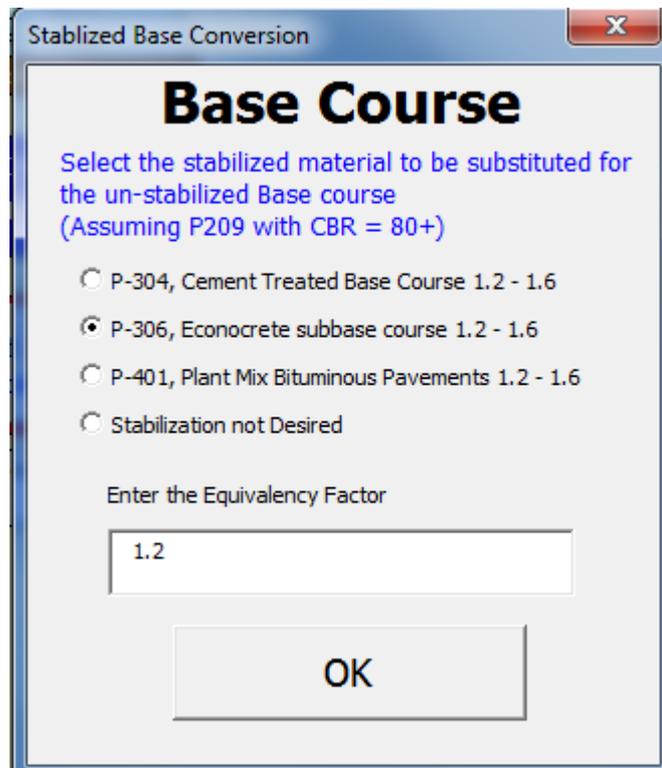
Figura 36 – Aviso para estabilização das camadas



Fonte: FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN, 2018.

- *Step 9*: responsável pela estabilização das camadas, iniciando-se pela Base em seguida a Sub-Base (Figuras 37 e 38). Os itens aqui selecionados são os mesmos utilizados e citados anteriormente.

Figura 37 – Step 9 (Estabilização da Base)



Fonte: FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN, 2018.

Figura 38 – Step 9 (Estabilização da Sub-Base)

Fonte: FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN, 2018.

- *Step* 10: gera um Relatório do Projeto, demonstrando o dimensionamento do pavimento.

4.5.4 Dimensionamento através do USACE

Afim de melhor entendimento, o cálculo será demonstrado em 3 etapas.

4.5.4.1 Aeronave de Projeto

Para o dimensionamento do pavimento pelo método tradicional (USACE – MÉTODO DO CORPO DE ENGENHEIROS AMERICANOS), se faz necessário primeiramente estabelecer a aeronave de projeto, para isso, utiliza-se os ábacos (em Anexo: A, B, C, D e E) e os dados de entrada que são: Peso Máximo de Decolagem (PMD), CBR do subleito e o Número Anual de Decolagem (NAD) (GOLDNER *et al.*, 2012). Com isso é possível obter os valores da espessura necessária para as aeronaves operantes, tal como podemos observar os respectivos valores na Tabela 8.

Tabela 8 – Espessura mínima para as aeronaves

| AERONAVES OPERANTES | ESPESSURA DO PAVIMENTO PELOS ÁBACOS |
|--------------------------------|--|
| Boeing 727-100 | 18 in |
| Boeing 707-320C | 22 in |
| Douglas MD11 | 26 in |
| Boeing 747-300 | 25 in |
| Boeing 747-400 | 28 in |

Fonte: Própria autoria, 2018.

Como o BOEING 747-400 necessita de uma maior espessura 28 in = 71,12 cm (1 in = 2,54 cm), adota-se como aeronave de projeto.

4.5.4.2 Frequência de Decolagens Equivalentes

De acordo com a FAA (2008) é necessário fazer a conversão da frequência de decolagens anuais, bem como a equivalência do trem de pouso. Portanto, as aeronaves serão alteradas em função do BOEING 747-400. Para isso, utiliza-se a fórmula seguinte na conversão do número equivalente de decolagens (Equação 5):

$$\log R1 = \log R2 \times \left(\frac{W2}{W1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Onde:

R1 – Número equivalente anual de decolagens da aeronave de projeto;

R2 – Número de decolagens anuais expresso em trem de pouso da aeronave de projeto;

W1 – carga da roda da aeronave de projeto;

W2 – Carga da roda das aeronaves.

Após a análise dos dados, verifica-se que a melhor opção de conversão do número de decolagens anuais em termos da aeronave de projeto é adotando o fator multiplicador 0,5 (Tabela 9).

Tabela 9 – Fatores de conversão

| DE | PARA | MULTIPLICAR POR |
|--------------------|--------------|-----------------|
| RODA SIMPLES | RODA DUPLA | 0.8 |
| RODA SIMPLES | DUPLO TANDEM | 0.5 |
| RODA DUPLA | DUPLO TANDEM | 0.6 |
| DUPLO DUPLO TANDEM | DUPLO TANDEM | 1.0 |
| DUPLO TANTEM | RODA SIMPLES | 2.0 |
| DUPLO TANDEM | RODA DUPLA | 1.7 |
| RODA DUPLA | RODA SIMPLES | 1.3 |
| DUPLO DUPLO TANDEM | RODA DUPLA | 1.7 |

Fonte: (GOLDNER *et al.*, 2012).

Sendo assim, os valores obtidos referentes à R2, bem como W1, W2 e R1 estão descritos na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores obtidos referentes à R2, W1, W2 e R1

| Aeronave | Peso Máximo Admissível | Tipo de Trem de Pouso | Frequência Anual | R2 | W2 | W1 | R1 |
|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------|------|----------|-------|--------|
| Boeing 727-100 | 170.000 lbs | Rodas duplas | 200 | 100 | 40375 | 83315 | 24,7 |
| Boeing 707-320C | 336.000 lbs | Duplo tandem | 200 | 100 | 39900 | 83315 | 24,2 |
| Douglas MD11 | 633.000 lbs | Duplo tandem / belly | 550 | 275 | 75168,75 | 83315 | 207,5 |
| Boeing 747-300 | 836.000 lbs | 2 x Duplo tandem | 550 | 550 | 79420 | 83315 | 473,7 |
| Boeing 747-400 | 877.000 lbs | 2 x Duplo tandem | 3.000 | 3000 | 83315 | 83315 | 3000 |
| TOTAL | | | | | | | 3730,1 |

Fonte: Própria autoria, 2018.

4.5.4.3 Cálculos para o dimensionamento

A espessura do pavimento de acordo com Goldner *et al.* (2012), é obtida através do ábaco do Anexo D, com os dados demonstrados anteriormente:

- Total (Et):
 - Aeronave de projeto: BOEING 747-400;
 - Tipo de Trem de Pouso: Duplo Duplo Tandem;
 - CBR do subleito: 12%;

- Total de decolagens por ano: 3730,1;
- Peso Máximo de Decolagem: 877.000 lbs.

Portanto, consegue-se descobrir o valor de $E_t = 31$ in (78,74 cm).

- Base + Revestimento ($E_b + E_r$):
 - Aeronave de projeto: BOEING 747-400;
 - Tipo de Trem de Pouso: Duplo Duplo Tandem;
 - CBR do subleito: 20%;
 - Total de decolagens por ano: 3730,1;
 - Peso Máximo de Decolagem: 877.000 lbs.

Sendo assim, $(E_b + E_r) = 19,5$ in (49,53 cm).

- Sub-Base (E_{sb}):

Pela Equação 6:

$$E_{sb} = E_t - (E_b + E_r) \quad (6)$$

Então, $E_{sb} = 11,5$ in (29,21 cm).

- Revestimento (E_r):

Para aeronaves militares ou que possuem trem de pouso com configurações especiais e que ultrapasse 30.000 libras de peso máximo de decolagem, se faz necessárias interpolações para o CBR e para número de movimentos de cada aeronave que são muito complexas e é só apresentada em literaturas especializadas, sendo inviável fazê-los a mão (FAA, 2008). Então, para este estudo será utilizado o mesmo valor que foi obtido através do *software FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN*, visto que este também considera os ábacos como base para os cálculos.

Portanto, $E_r = 5$ in (12,7 cm).

- Base (E_b):

Pela Equação 7:

$$E_b = E_t - E_{sb} - E_r \quad (7)$$

Logo, Eb = 14,5 in (36,83 cm).

5 RESULTADOS ALCANÇADOS E ANÁLISE COMPARATIVA

Os resultados do dimensionamento do pavimento flexível obtido tanto pelos softwares, quanto pelo método manual, estão descritos adiante.

5.1 SOFTWARE: FAARFIELD (VERSÃO 1.42)

Este programa não considera o conceito de apenas uma aeronave de projeto para o dimensionamento do pavimento, e sim o *mix* todo. Os valores atingidos por esse método estão indicados na Tabela 11. O programa elabora um relatório do dimensionamento do pavimento, conforme Anexo F.

Tabela 11 – Resultado do Dimensionamento pelo FAARFIELD

| Camadas | Material | Espessura | |
|---------------------|--------------|----------------|-----------------|
| | | Polegadas (in) | Centímetro (cm) |
| Revestimento | P-401/ P-403 | 4,00 | 10,16 |
| Base | P-306 | 6,88 | 17,48 |
| Sub-base | P-154 | 6,51 | 16,53 |
| TOTAL | | 17,39 | 44,17 |

Fonte: Própria autoria, 2018.

5.2 SOFTWARE: FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN

Todo planeado em Excel baseia-se no método tradicional USACE, porém, possui uma matemática de dados mais complexos, cálculo e de interpolações. A Tabela 12 trás os resultados obtidos por este software, que considera para os cálculos o BOEING 747-400 como aeronave de projeto. O relatório gerado por este, encontra-se no Anexo G.

Tabela 12 – Resultado do Dimensionamento pelo Flexible Pavement Design

| Camadas | Material | Espessura | |
|---------------------|----------|----------------|-----------------|
| | | Polegadas (in) | Centímetro (cm) |
| Revestimento | P-401 | 5,00 | 12,70 |
| Base | P-306 | 11,50 | 29,21 |
| Sub-base | P-154 | 9,50 | 24,13 |
| TOTAL | | 26 | 66,04 |

Fonte: Própria autoria, 2018.

5.3 MÉTODO DO CORPO DE ENGENHEIROS AMERICANOS (USACE)

Este, também utiliza o conceito da aeronave de projeto e emprega os ábacos, fornecidos pela FAA, estabelecidos para diversas aeronaves. O BOEING 747-400 foi o mais crítico, pois necessitava de uma maior espessura mínima, como demonstrada anteriormente. Os resultados alcançados por esse método encontram-se na Tabela 13.

Tabela 13 – Resultado do Dimensionamento pelo USACE

| Camadas | Material | Espessura | |
|---------------------|------------------------|----------------|-----------------|
| | | Polegadas (in) | Centímetro (cm) |
| Revestimento | CBUQ | 5,00 | 12,70 |
| Base | Referente à CBR de 80% | 14,50 | 36,83 |
| Sub-base | Referente à CBR de 20% | 11,50 | 29,21 |
| TOTAL | | 31,00 | 78,74 |

Fonte: Própria autoria, 2018.

5.4 ANÁLISE COMPARATIVA

Os métodos aqui demonstrados, tanto o tradicional, quanto os *softwares*, alcançaram resultados válidos para o dimensionamento do pavimento flexível do Aeroporto de Cargas de Anápolis, considerando as características do solo, as aeronaves que operarão e suas respectivas frequências anuais. Porém, além das dimensões de cada camada, é preciso por na balança as limitações de cada método.

As dimensões alcançadas pelo *software Flexible Pavement Design* e o método tradicional USACE, não tiveram uma diferença tão significativa entre si, se comparadas com o FAARFIELD, o qual demonstrou resultados mais satisfatórios.

Os resultados apresentados outrora estão agrupados na Tabela 14 de modo simplificado, para uma melhor comparação das dimensões de cada camada.

Tabela 14 – Espessura das camadas

| CAMADAS | ESPESSURAS (cm) | | |
|--------------|-----------------|--------------------------|--------------|
| | USACE | FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN | FAARFIELD |
| REVESTIMENTO | 12,7 | 12,7 | 10,16 |
| BASE | 36,83 | 29,21 | 17,48 |
| SUB-BASE | 29,21 | 24,13 | 16,53 |
| TOTAL | 78,74 | 66,04 | 44,17 |

Fonte: Própria autoria, 2018.

Em relação à camada do revestimento, nota-se pouca diferença dos resultados entre os três métodos, sendo a mesma espessura para o USACE e o *Flexible Pavement Design*, os quais obtiveram 2,54 cm a mais que o FAARFIELD.

Em contrapartida, a base e a sub-base apresentaram diferenças maiores, sendo o método tradicional USACE o que alcançou uma maior espessura em ambas e o FAARFIELD a menor. A camada do pavimento que mais apresentou variação foi à base, visto que, os *softwares* consideram cálculos mais complexos para o dimensionamento das espessuras da base e sub-base, já o USACE, volta a utilizar o ábaco para obtenção da base e, a sub-base torna-se apenas a diferença da espessura total do pavimento.

O pior desempenho obtido para dimensionar a espessura total do pavimento foi pelo método do Corpo de Engenheiros Americanos, pois apresentou maior espessura. Logo em seguida, o intermediário foi o *Flexible Pavement Design* e, evidentemente, o FAARFIELD foi o que mais destacou entre eles, por atingir uma espessura menor e ser capaz de suportar os mesmos esforços.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste estudo, percebe-se que é necessário para o Engenheiro Civil, o entendimento amplo de padronizações e técnicas aeronáuticas que são essenciais para o planejamento de um aeródromo. Posto que, são imprescindíveis para o êxito na construção da pista e o dimensionamento do pavimento, os conhecimentos das características e particularidades apresentadas neste trabalho. Diante do exposto, foi fornecido aos profissionais informações necessárias, para que os mesmos possam dimensionar o comprimento da pista, largura e orientação de forma correta e segura, demonstrando variáveis que podem interferir e que devem ser consideradas para devidos cálculos. Patenteando também, métodos de dimensionamento do pavimento flexível, fornecidos pela FAA.

Advisory Circular (AC) 150/5320 – 6F (FAA, 2016) teve um grande avanço, comparada com suas antecessoras, no que refere as metodologias adotadas para o dimensionamento dos pavimentos aeroportuários. O programa FAARFIELD adotada por esta, é capaz de considerar o desgaste da qualidade estrutural do pavimento que estão sujeitos às novas concepções das aeronaves, podendo ser mais pesadas e com trens de aterragem variados e complexos.

Como apresentados pelos métodos da FAA existem algumas limitações que são uma desvantagem em relação ao FAARFIELD. O método USACE faz o uso de ábacos para o dimensionamento do pavimento, os quais dependem da aeronave de projeto, frequência anual, peso máximo de decolagem e o CBR, porém o que se consegue é um valor aproximado do que seria a dimensão do pavimento, visto que, não é possível saber exatamente o valor através dos ábacos. Já o *software Flexible Pavement Design* é uma versão melhorada que utiliza os mesmos requisitos que o método tradicional, porém, apesar de ter como base os ábacos, não é necessário mais deles para o dimensionamento das camadas, pois o mesmo faz os cálculos e interpolações referentes aos valores de entrada, contudo, possui poucas opções de aeronaves definidas neste *software*, podendo às vezes limitar o usuário. Em comparação, o FAARFIELD considera a contribuição de todas as aeronaves e o seu uso até a fadiga do pavimento, além de, possuir uma interface simples, os resultados são obtidos de forma intuitiva e rápida, podendo o projetista também, desfrutar de uma vasta biblioteca de modelos já definidos de acordo com os manuais das aeronaves.

A principal mudança do FAARFIELD em associação com os outros métodos corresponde ao fim do conceito de aeronave crítica (aeronave de projeto), tomando todo

conjunto de aeronaves operantes e a posição precisa e geometria dos pneus de cada aeronave em relação ao eixo da pista.

Vale ressaltar que, um bom dimensionamento é aquele capaz de suportar grandes solicitações de cargas com uma menor espessura, ou seja, o mais econômico possível. Ao dimensionar o pavimento para um aeroportuário de grande porte como o Aeroporto de Cargas de Anápolis – GO verifica-se que o *software* FAARFIELD fornecido pela FAA é o mais recomendado, por demonstrar melhor desempenho em relação aos outros métodos, portanto, o mais econômico e eficiente. Sendo que, o aeroporto possui grandes dimensões e sua construção depender de gastos extremamente altos, conseqüentemente, geraria uma economia na sua execução.

Portanto, a relevância desse estudo, destaca-se pelo grande crescimento do transporte aéreo nas últimas décadas e a falta de profissionais capacitados. Expondo ao profissional, noções importantes para o dimensionamento de um aeródromo, além de apontar métodos mais eficientes quando se trata em pavimentação de aeroportos, visto que, ainda são utilizadas metodologias empírico-mecanicistas, recorrente ao conceito de aeronave crítica, por falta de conhecimento da metodologia do *software* FAARFIELD.

Dispondo como referência tudo que foi abordado neste estudo, sugere-se para futuros trabalhos:

- Um estudo mais aprofundado dos fatores que afetam o dimensionamento do aeródromo;
- Conferência da aplicação do FAARFIELD para pavimentos rígidos;
- Comparação deste método com outros existentes, por exemplo, o método francês;
- Dimensionamento do pavimento além da pista de pouso e decolagem, sendo estes, pistas de taxiamentos, plataforma de estacionamentos, dado que, sofrem variados tipos de solicitações de cargas;
- Tipos de materiais a serem empregados na estrutura do pavimento, evidenciando o desempenho de cada um;
- Estudo aprofundado em materiais sustentáveis aplicando-os nos pavimentos de aeroportos;

REFERÊNCIAS

- AGETOP – AGÊNCIA GOIANA DE TRANSPORTES E OBRAS PÚBLICAS. **Memorial de cálculo do pavimento flexível do Aeroporto Internacional de Cargas de Anápolis**. Goiânia, 2018.
- ALVES, C. J. P.; **Aeronaves e Comprimento de Pistas**. 2014. Disponível em: <<http://www2.ita.br/~claudioj/aeron.pdf>>. Acesso em: 27 de Jan. de 2018.
- ALVES, C. J. P.; FRAGA, R. Capacidade do lado aéreo dos aeroportos brasileiros. **Journal Of Transport Literature**. 26 jan. 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde.../Dissertacao_Joao_Carlos_Medau.pdf>. Acesso em: 26 de jan. de 2018.
- ANAC – AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Anuário do Transporte Aéreo 2014**. 2015. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/mercado-de-transporte-aereo/anuario-do-transporte-aereo/dados-do-anuario-do-transporte-aereo>>. Acesso em: 26 de jan. de 2018.
- ANAC – AGENCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **RBAC n.º 154, EMENDA N° 2: Projeto de Aeródromos**. Brasil, 2017, 247 p.
- ASHFORD, N. J.; MUMAYIZ, S.; WRIGHT, P. H. **Airport Engineering: Planning, Design and Development of 21st Century Airports**. Wiley, 2011.
- AZEREDO, G. Q. Fatores que condicionam a construção de pistas em aeródromos. Trabalho de conclusão de curso. **Rev. Puc RS**, 2011. Disponível em: <<http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/graduacao/article/view/8593/6079>>. Acesso em: 26 de jan. de 2018.
- BARBOSA, V. L. Daia 33 anos: Distrito "mudou" o perfil econômico de Goiás. Anápolis. **Jornal Contexto**. Disponível em: <http://www.jornalcontexto.net/noticia_detalhe.php?id_noticia=588&&edicao=Edi%E7%E3o%20329%20-%2026%20de%20agosto%20a%201%20de%20setembro%20de%202011>. Acesso em: 08 de Ago. de 2018.
- BERNUCCI, L. P.; MOTTA, L. M.; CERATTI, J. A.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobrás; ABEDA, 2006.
- CASTRO, P. **Aeródromo, aeroporto, cidade-aeroporto e aerotropó-lis. Uma (re)visão de conceitos**. Cadernos curso de doutoramento em Geografia FLUP, 2012. Disponível em: <<http://ler.letras.up.pt/uploads/ficheiros/9959.pdf>>. Acesso em: 30 de jan. de 2018.
- DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Anteprojeto de engenharia para crema 2ª etapa de rodovia**, 2015. Ministério dos transportes. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/anexo/Projetos/Projetos_edital0563_15-12_0.pdf>. Acesso em: 08 de Ago. de 2018.
- DOMINGOS, F. **A arte do voo**. Disponível em: <<http://blogdofdomingos.blogspot.com/2010/>>. Acesso em: 12 de Fev. de 2018.

FAA. **Airport Pavement Design and Evaluation**. Advisory Circular N.º 150/5320-6D F. A. Administration, U.S. Department of Transportation, 1995. Disponível em: <https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/150_5320_6d_cancelled.pdf>. Acesso em: 22 de Ago. de 2018.

FAA. **Airport Pavement Design and Evaluation**. Advisory Circular N.º 150/5320-6E F. A. Administration, U.S. Department of Transportation, 2009. Disponível em: <https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/150_5320_6e.pdf>. Acesso em: 22 de Ago. de 2018.

FAA. **Airport Pavement Design and Evaluation**. Advisory Circular N.º 150/5320-6F F. A. Administration, U.S. Department of Transportation, 2016. Disponível em: <https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/150-5320-6F.pdf>. Acesso em: 22 de Ago. de 2018.

FAA. **Standards for Specifying Construction Of Airports**. Advisory Circular N.º 150/5370-10F Change NA. F. A. Administration, U.S. Department of Transportation, 2011. Disponível em: <https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/150_5370_10F.pdf>. Acesso em: 22 de Ago. de 2018.

FORTES, J. L. C.; PAMPLONA, D. A.; MULLER, C.; **Análise da capacidade do sistema de pistas – O aeroporto internacional do Rio de Janeiro como estudo de caso**. Ouro Preto, 2015. Disponível em: <http://146.164.5.73:20080/ssat/interface/content/anais_2015/TrabalhosFormatados/AC998.pdf>. Acesso em: 04 de Fev. de 2018.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GOLDNER, L. G.; SANTOS, J. V.; JUNIOR, V. C. **Apostila de Aeroportos**. 213p. Programa de Educação Tutorial – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

HORONJEFF, R. **Aeroportos Planejamento e Projeto**. Tradução Heitor Lisboa de Araujo. 1. ed. Rio de Janeiro: McGraw-Hill Book Company, 1966 (Ao Livro Técnico). 513 p., Título original: Planning and Design of Airports.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama da cidade de Anápolis**, 2018. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/anapolis/panorama>>. Acesso em: 08 de Ago. de 2018.

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (2013). **Estatísticas**. Disponível em: <<http://www.infraero.gov.br>>. Acesso em: 28 de jan. de 2018.

INSTITUTO DE ASFALTO. **Manual de asfalto** [Rio Janeiro: Petrobrás, 2001]. Série do Manual n: 4 (MS-4). Tradução da edição de 1989.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **ANNEX 14 - TO THE CONVENTION ON INTERNATIONAL CIVIL AVIATION**. v. 01. 1999.

KAZDA, A.; CAVES, R. E. **Airport design and operation**. 2 ed. Amsterdam: Elsevier, 2007.

MCKINSEY & COMPANY. **Estudo do Setor de Transporte Aéreo do Brasil**. Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/empresa/pesquisa/chamada3/relatorio_consolidado.pdf>. Acesso em: 08 de Abr. de 2018.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. **Mecânica dos pavimentos**. 2 ed. Rio de Janeiro. Editora da UFRJ, 2005.

RATTON, E.; RECK, G.; BLASI, G. F.; BASTOS, J. T.; PEREIRA, M. A.; KUSTER, W. **Pistas de pouso e decolagem**. Curitiba: Departamento de Transportes, 2015. 69 slides, color.

QUIÑONES, S. M. **Aplicación Práctica del Faarfield para el Diseño Estructural de Los Pavimentos Aeroportuarios**. Resumen, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, 2012. Disponível em: <<http://www.acreditacionfic.uni.edu.pe/files/PAPERFAARFIELD.pdf>> Acesso em 08 de Ago. de 2018.

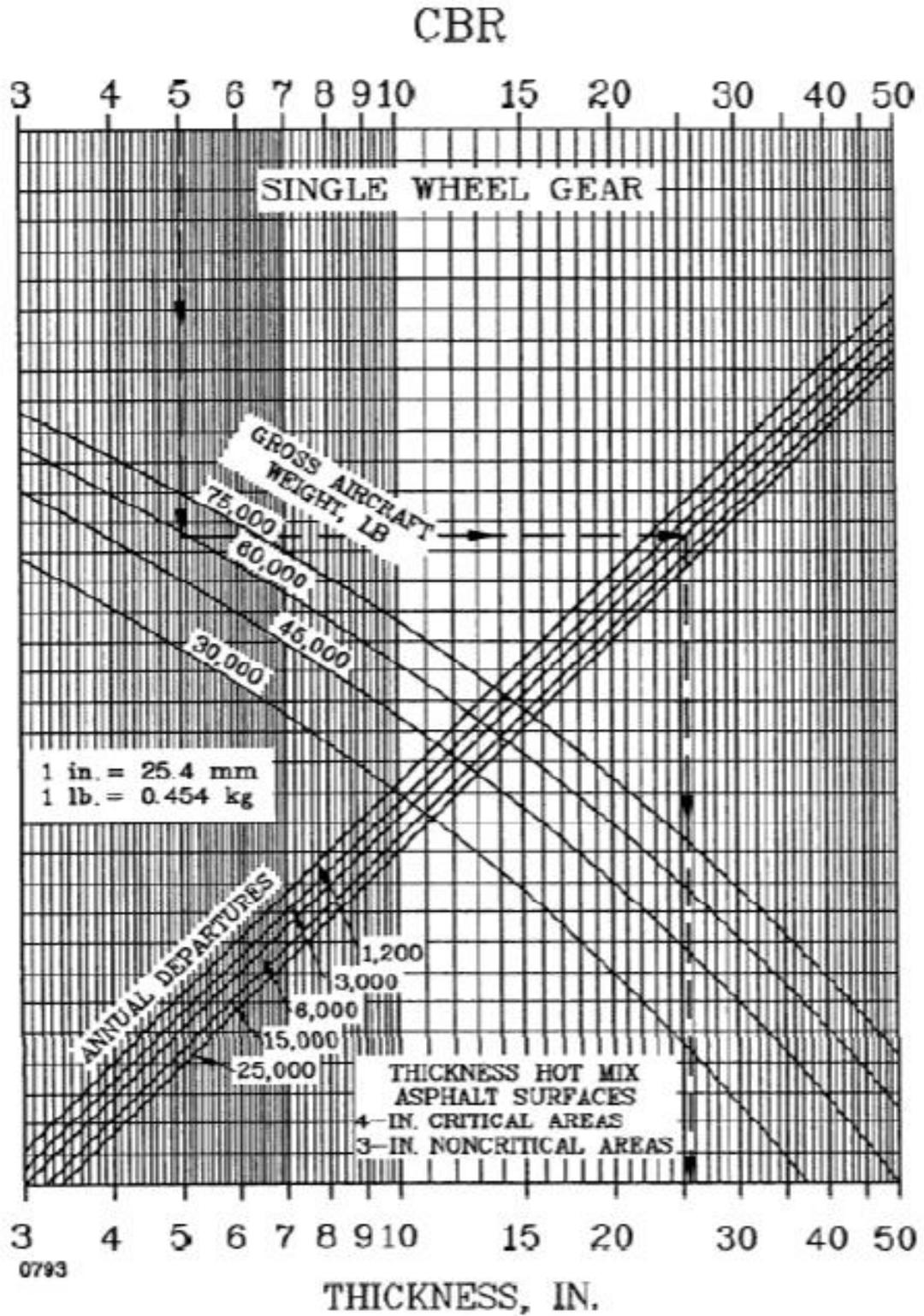
SILVA, F. R.; **Dimensionamento de pavimento aeroportuário, estudos de caso: aeroporto de Brasília e de Atlanta**. Monografia apresentada como requisito para conclusão do curso de bacharelado em Engenharia Civil da Faculdade de Tecnologia e Ciências Aplicadas do Centro Universitário de Brasília- UniCEUB. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.uniceub.br/bitstream/235/9603/1/21159710.pdf>>. Acesso em: 12 de Fev. de 2018.

VANDERIC, M. **Aeroporto vai potencializar Polo Logístico de Anápolis**. 2017. Disponível em: <<http://anapolisglobal.com.br/aeroporto-vai-potencializar-polo-logistico-de-anapolis/>>. Acesso em: 31 de ago. de 2018.

VIEIRA, R. A. C. **Dimensionamentos de Pavimentos Aeroportuários: A Consideração de Novas Orientações**. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Técnico de Lisboa, 2015.

ANEXO A

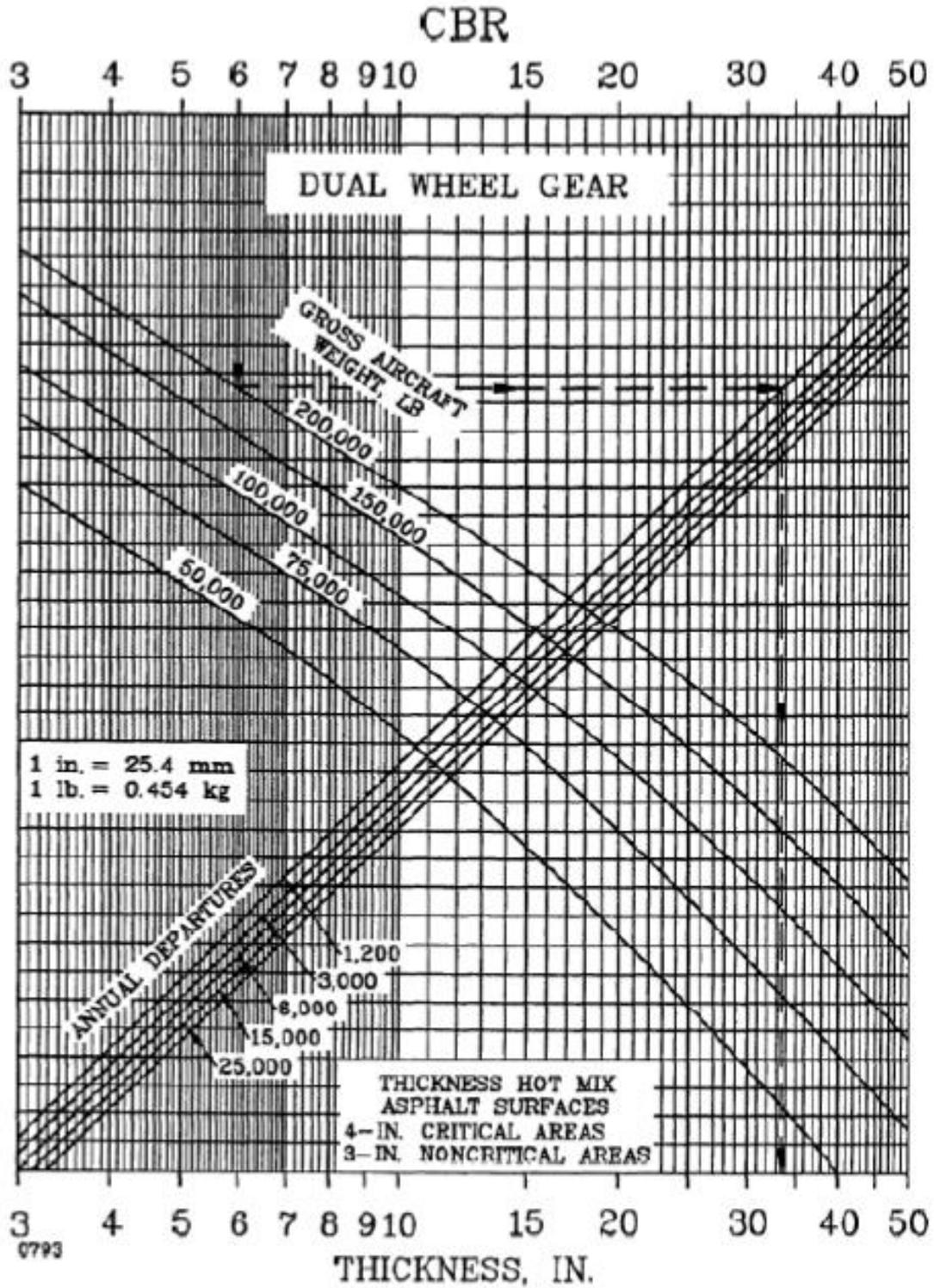
Curvas de projeto de pavimentos flexíveis (Trem de pouso de Roda Simples)



Fonte: GOLDNER *et al.*, 2012.

ANEXO B

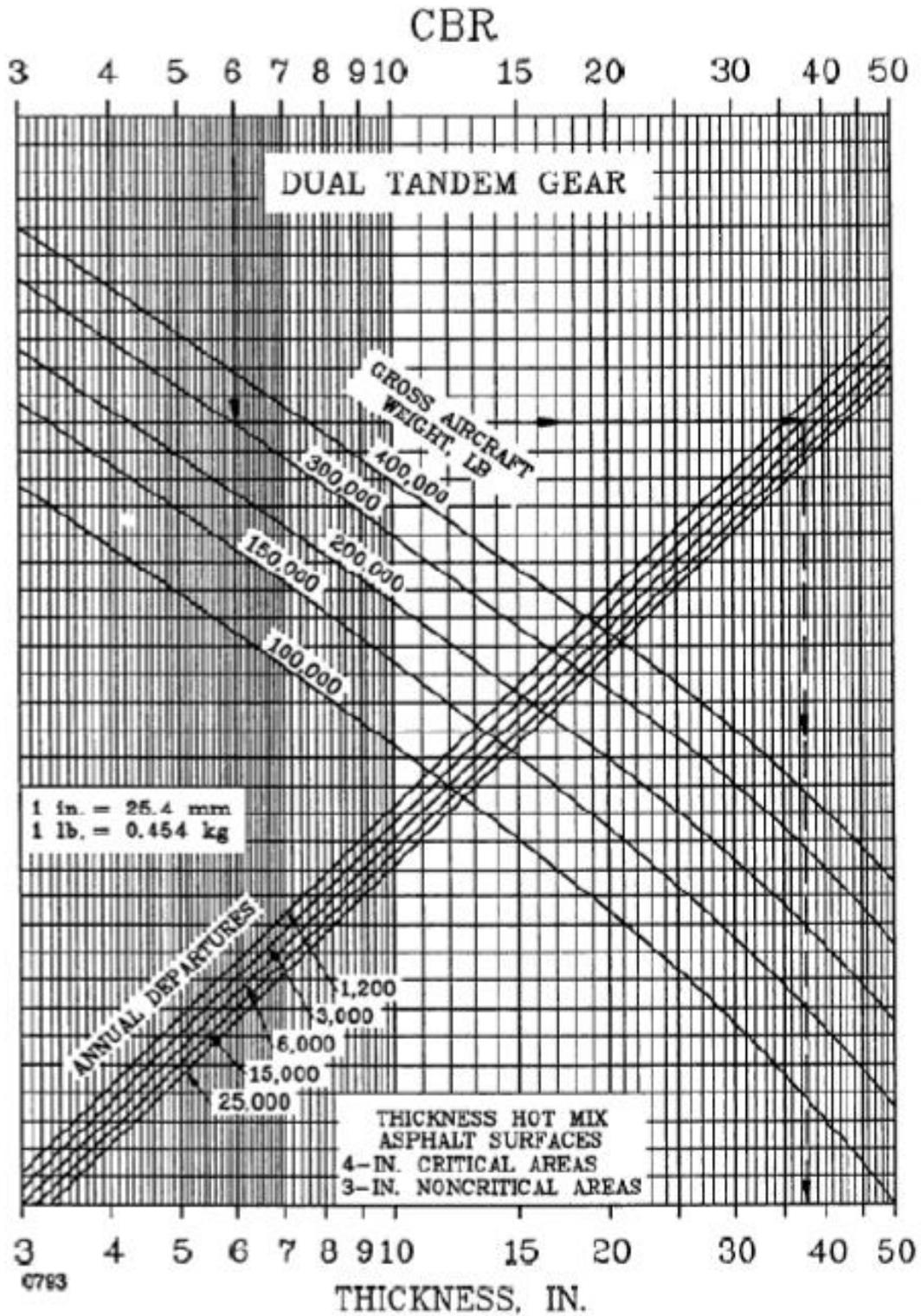
Projeto de curvas de pavimento flexível (trem de pouso Roda Dupla)



Fonte: GOLDNER *et al.*, 2012.

ANEXO C

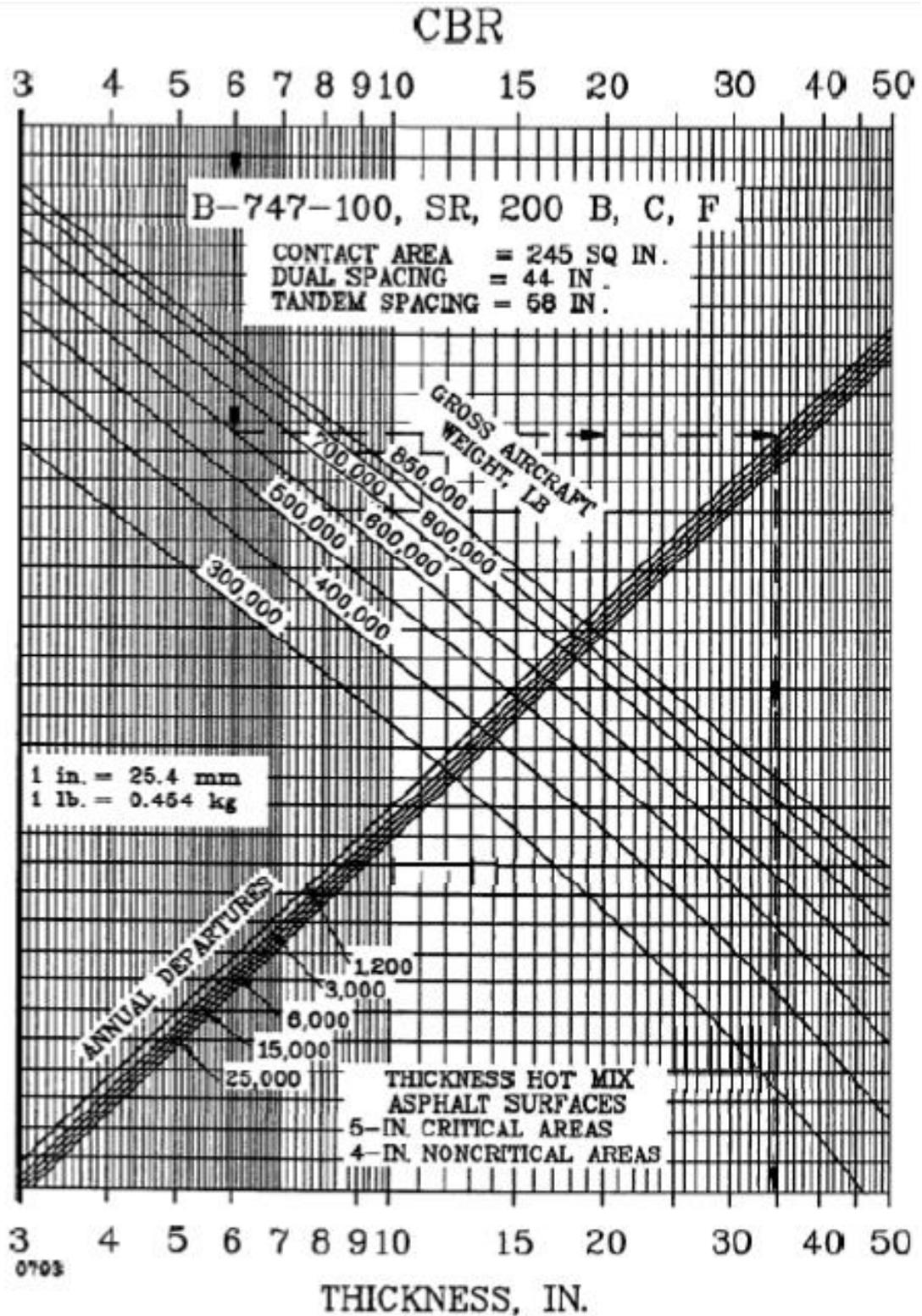
Curvas de projeto de pavimentos flexíveis (Trem de pouso Duplo Tandem)



Fonte: GOLDNER *et al.*, 2012.

ANEXO D

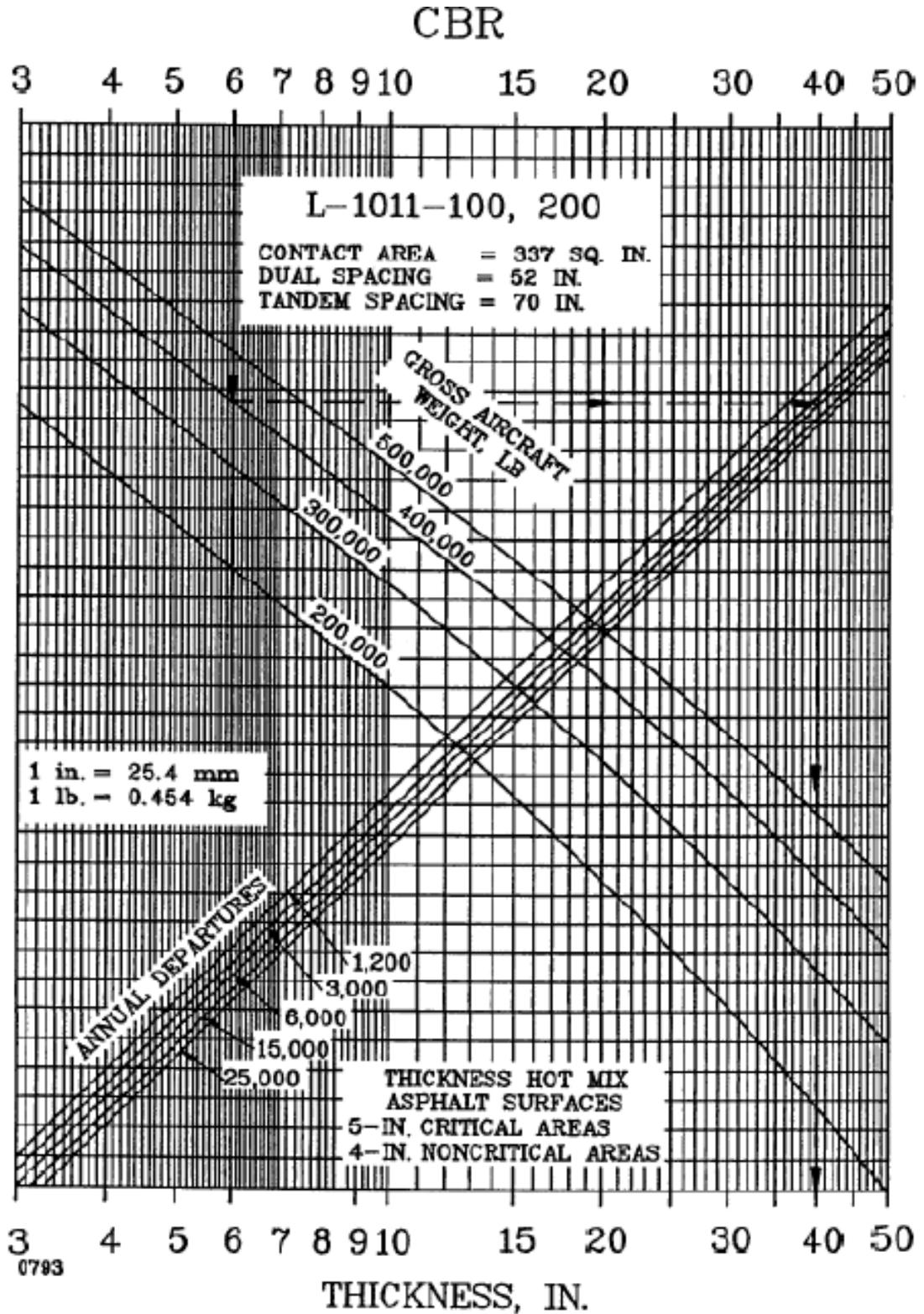
Curvas do projeto de pavimentos flexíveis (B747-100, SR, 200 B, C, F)



Fonte: GOLDNER *et al.*, 2012.

ANEXO E

Projeto de pavimentos flexíveis (L-1011-100, 200)



Fonte: GOLDNER *et al.*, 2012.

ANEXO F

Relatório gerado pelo FAARFIELD

| FAARFIELD v 1.42 - Airport Pavement Design | | | | | |
|--|----------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|
| Section PavFlexivel in Job PistaTCC2. | | | | | |
| Working directory is C:\Users\maykondouglas\Documents\FAARFIELD\ | | | | | |
| The structure is New Flexible. Asphalt CDF was not computed. | | | | | |
| Design Life = 20 years. | | | | | |
| A design for this section was completed on 10/15/18 at 16:27:11. | | | | | |
| Pavement Structure Information by Layer, Top First | | | | | |
| No. | Type | Thickness in | Modulus psi | Poisson's Ratio | Strength R,psi |
| 1 | P-401/ P-403 HMA Surface | 4,00 | 200.000 | 0,35 | 0 |
| 2 | P-308 Lean Concrete | 6,88 | 700.000 | 0,20 | 0 |
| 3 | P-154 UnCr Ag | 6,51 | 21.541 | 0,35 | 0 |
| 4 | Subgrade | 0,00 | 18.000 | 0,35 | 0 |
| Total thickness to the top of the subgrade = 17,39 in | | | | | |
| Airplane Information | | | | | |
| No. | Name | Gross Wt. lbs | Annual Departures | % Annual Growth | |
| 1 | B727-100C Alternate | 170.000 | 200 | 0,00 | |
| 2 | B707-320C | 336.000 | 200 | 0,00 | |
| 3 | MD11ER | 633.000 | 550 | 0,00 | |
| 4 | MD11ER Belly | 633.000 | 550 | 0,00 | |
| 5 | B747-300 Combi Mixed | 836.000 | 550 | 0,00 | |
| 6 | B747-300 Combi Mixed Belly | 836.000 | 550 | 0,00 | |
| 7 | B747-400 | 877.000 | 3.000 | 0,00 | |
| 8 | B747-400 Belly | 877.000 | 3.000 | 0,00 | |
| Additional Airplane Information | | | | | |
| Subgrade CDF | | | | | |
| No. | Name | CDF Contribution | CDF Max for Airplane | P/C Ratio | |
| 1 | B727-100C Alternate | 0,00 | 0,00 | 1,47 | |
| 2 | B707-320C | 0,00 | 0,00 | 1,51 | |
| 3 | MD11ER | 0,57 | 0,57 | 1,74 | |
| 4 | MD11ER Belly | 0,00 | 0,16 | 1,45 | |
| 5 | B747-300 Combi Mixed | 0,02 | 0,02 | 1,60 | |
| 6 | B747-300 Combi Mixed Belly | 0,00 | 0,02 | 1,60 | |
| 7 | B747-400 | 0,41 | 0,41 | 1,60 | |
| 8 | B747-400 Belly | 0,00 | 0,41 | 1,60 | |
| User is responsible for checking frost protection requirements. | | | | | |

Fonte: FAARFIELD, 2018.

ANEXO G

Relatório gerado pelo FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN

| | | | | |
|--|--|---|--------------------------------------|---------|
| FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN FOR | | 10/31/2005 | | |
| CALC DO AEROPORTO | | <i>AC Method</i> | | |
| ANÁPOLIS, GOIÁS | | | | |
| Engineer - | MAYKON DOUGLAS | AIP No. TCC | | |
| DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO FLEXÍVEL | | | | |
| 28" | Total Thickness Required (inches) <i>No thickness adjustments required</i> | | | |
| | | <i>Stabilized Base/Subbase Are Required</i> | | |
| Initial Pavement Cross Section | | Stabilized or Modified Cross Section | | |
| 5" | Pavement Surface Layer (P-401) | 5" | P-401 Plant Mix Bituminous Pavements | Factors |
| 13,5" | Base Layer (P-209) | 11,5" | P-306, Econocrete Subbase Course | 1,2 |
| 9,5" | Subbase #1 (P-154) CBR= 20 | 9,5" | Not stabilized -- P-154 | 1 |
| 0" | Subbase #2 CBR= 0 | 0" | Material as defined by user | |
| 0" | Subbase #3 CBR= 0 | 0" | Material as defined by user | |
| Frost Considerations | | | | |
| 0 lb/cf | Dry Unit Weight of Soil | | | |
| 0 | Degree Days °F | | | |
| No Data Provided Frost Penetration Depth | | | | |
| 12 | Original CBR value of subgrade Soil | | | |
| 12 | CBR Value used for the Subgrade Soil | Non-Frost Code for Subgrade Soil | | |
| 20 | CBR Value used for subbase #1 | Non-Frost code for Subbase #1 | | |
| 0 | CBR Value used for subbase #2 | Non-Frost code for Subbase #2 | | |
| 0 | CBR Value used for subbase #3 | No frost selection made for Subbase #3 | | |
| Design Aircraft Information | | | | |
| The Design Aircraft is a BOEING747 - 780,000 lbs -- (BOEING 747-400) | | | | |
| 877000 lbs | Gross Weight | 20 | Design Life (years) | |
| 4.537 | **Equivalent Annual Departures of a 300,000 lb Dual Tandem Gear - see Para. 305 AC 150/5320-6D | | | |
| Subgrade Compaction Requirements for Design Aircraft | | | | |
| Non-Cohesive Soils | | Cohesive Soils | | |
| Compaction | Depth Required | Compaction | Depth Required | |
| 100% | 0 - 23" | 95% | 0 - 9" | |
| 95% | 23 - 41" | 90% | 9 - 18" | |
| 90% | 41 - 59" | 85% | 18 - 27" | |
| 85% | 59 - 76" | 80% | 27 - 36" | |
| See Appendix 5 to AC 150/5320-6D, Airport Design and Evaluation, for application of this software. | | | | |

Fonte: FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN, 2018.