

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DO SERTÃO
EIXO DA TECNOLOGIA - ENGENHARIA CIVIL**

GABRIEL MACÊDO DUARTE

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA IMPLANTAÇÃO DO AEROPORTO DE
ARAPIRACA-AL**

DELMIRO GOUVEIA-AL

2017

GABRIEL MACÊDO DUARTE

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA IMPLANTAÇÃO DO AEROPORTO DE
ARAPIRACA-AL**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, *Campus* do Sertão, como pré-requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Prof. MSc. David Anderson Cardoso Dantas

DELMIRO GOUVEIA-AL

2017

D812e Duarte, Gabriel Macêdo

Estudo de viabilidade técnica da implantação do aeroporto de
Arapiraca-AL / Gabriel Macêdo Duarte. - 2017.

95f. : il.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de
Alagoas, Delmiro Gouveia, 2017.

Orientação: Prof. Me. David Anderson Cardoso Dantas.

1. Aeroportos. 2. Pista de Pouso. 3. Projeto Geométrico.

CDU 658

Folha de Aprovação

AUTOR: GABRIEL MACÊDO DUARTE

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA IMPLANTAÇÃO DO AEROPORTO DE ARAPIRACA-AL

Monografia apresentada à Banca Examinadora do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, Campus do Sertão, e aprovado em 29 de novembro de 2017.

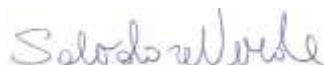


Prof. MSc. David Anderson Cardoso Dantas, UFAL (Orientador)

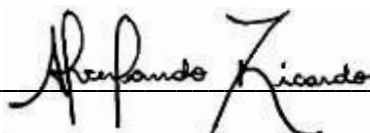
Banca Examinadora:



Prof. MSc. David Anderson Cardoso Dantas, UFAL (Orientador)



Prof. MSc. Salvatore Verde, UFAL (Examinador Interno)



Prof. MSc. Alverlando Silva Ricardo, UFAL (Examinador Interno)

Este trabalho é dedicado aos meus pais que sempre
estarão em meu coração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente ao meu orientador, Prof. David Dantas, pela confiança depositada em mim na confecção deste trabalho, bem como pela disponibilidade e orientação ao longo dos últimos meses para a conclusão desta monografia.

À minha família, principalmente meus irmãos – Gustavo, Alaíse e Isabelle – por estarem sempre ao meu lado nos momentos difíceis da minha vida e pelo incentivo constante.

Aos meus amigos que me acompanharam nessa longa jornada me proporcionando momentos de felicidades inesquecíveis. Em especial, agradeço aos meus amigos que compartilharam o mesmo teto comigo durante os anos de graduação e foram minha família no Sertão Alagoano.

A todos os professores que contribuíram para meu crescimento profissional, acadêmico e pessoal por meio da transmissão de seus conhecimentos.

Por fim, agradeço a Deus por ter me guiado até este momento da minha vida.

*“Quando tudo tiver parecendo ir contra você,
lembre-se que o avião decola contra o vento, e
não a favor dele.”*

(Henry Ford)

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo de viabilidade técnica da implantação do aeroporto do município de Arapiraca - AL por meio do estudo realizado pela Prefeitura Municipal de Arapiraca que identificou seis potenciais sítios propícios para a instalação do aeródromo. Nesse ínterim, executou-se o projeto geométrico da pista de pouso e decolagem referente aos seis sítios em análise que consistiu basicamente do dimensionamento do comprimento da pista, dimensionamento do sistema de pista e das áreas de proteção, perfil longitudinal e transversal da pista, verificação da linha de visão, dimensionamento das superfícies imaginárias, representação gráfica das superfícies no software AutoCAD 2018® versão estudantil, georreferenciamento da pista através da integração do software Google Earth Pro 2015 com o AutoCAD 2018® e, por fim, representação das superfícies imaginárias no software Google Earth Pro 2015. O projeto geométrico da pista foi executado seguindo as diretrizes inseridas nos regulamentos e circulares consultivas publicados pela Administração Federal da Aviação (FAA). Com os resultados obtidos, notou-se que as seis áreas analisadas neste projeto são viáveis tecnicamente para a implantação do aeroporto uma vez que atendem a todos os critérios de segurança e dimensionamento. Ademais, o sítio 4 é o mais adequado para a instalação do aeródromo visto que a pista 4 apresenta menor gradiente efetivo em comparação com as demais pistas, bem como requer menor comprimento de pista para garantir o pouso e decolagem segura das aeronaves com previsão de operar no aeródromo.

Palavras-chaves: Aeroportos. Projeto Geométrico de Pista. Pista de Pouso e Decolagem. FAA. Arapiraca.

ABSTRACT

This work presents the technical feasibility study of the implantation of the airport of the city of Arapiraca-AL by means of the study carried out by the Municipal Authority that identified six potential sites suitable for the installation of the aerodrome. In this way, it was executed the runway geometric design referring to the six sites under analysis which consisted basically of determining runway length, dimensioning of system and safety areas of the runway, longitudinal and transverse profile of the runway, verification of the line of sight, dimensioning of imaginary surfaces, graphical representation of the surfaces in AutoCAD 2018® student version, georeferencing of the runway through the integration of Google Earth Pro 2015 with AutoCAD 2018® and, finally, representation of the imaginary surfaces in Google Earth Pro 2015. The dimensioning was executed following the directives included in the regulations and advisory circulars published by the Federal Aviation Administration (FAA). With the results obtained, it was realized that the six areas examined in this project are technically feasible to the airport implementation since they meet all safety and dimensioning criteria. Furthermore, the site 4 is the most suitable for the installation of the aerodrome since runway 4 presents the lowest effective gradient in comparison to the other runways, as well as it requires shorter runway length to safely guarantee landing and takeoff of the aircrafts that are expected to operate in the aerodrome.

Keywords: Airports. Runway Geometric Design. Runway. FAA. Arapiraca.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização geográfica do município de Arapiraca em Alagoas.	18
Figura 2 - Disposição do atual aeródromo de Arapiraca.	19
Figura 3 - Combinação dos parâmetros físico e operacional das aeronaves.	23
Figura 4 - Aeroporto de Madeira com configuração de pista única.	23
Figura 5 - Aeroporto Santos Dumont com configuração de pistas paralelas.	24
Figura 6 - Aeroporto Afonso Pena com configuração de pistas cruzadas.	25
Figura 7 - Aeroporto Galeão com configuração de pistas em V abertas.	25
Figura 8 - Rosa dos ventos para vento de través admissível de 13 knots.	26
Figura 9 - Dados do vento inseridos na rosa dos ventos.	28
Figura 10 - Representação das distâncias declaradas.	30
Figura 11 - Exemplos de condições meteorológicas: (a) Voo VFR; (b) Voo IFR.	31
Figura 12 - Antenas dos transmissores: (a) Localizer; (b) Glide slope.	32
Figura 13 - Aparelhos indicadores: (a) Analógico; (b) Digital.	33
Figura 14 - Configuração do ILS.	33
Figura 15 - Categorias de ILS de acordo com a FAA.	34
Figura 16 - Lista de aeroportos com ILS.	35
Figura 17 - Sistema de pista.	36
Figura 18 - Ilustração da RSA, ROFA e RPZ.	38
Figura 19 - Representação da ROFZ.	38
Figura 20 - Seção transversal da ROFZ.	38
Figura 21 - Ilustração da POFZ.	39
Figura 22 - Representação da approach/departure RPZ.	39
Figura 23 - Ilustração das superfícies imaginárias.	41
Figura 24 - Superfícies imaginárias do aeroporto Santos Dumont.	42
Figura 25 - Limites de declividade longitudinal de pistas para utility airports.	42
Figura 26 - Limites de declividade longitudinal de pistas para transport airports.	43
Figura 27 - Limites de declividade longitudinal da área de segurança da pista.	43
Figura 28 - Limites de declividade transversal de pistas.	44
Figura 29 - Limites de declividade transversal da área de segurança da pista.	44
Figura 30 - Zona de visibilidade de pistas cruzadas.	45
Figura 31 - Ilustração do método de verificação da linha de visão entre dois pontos da pista.	46
Figura 32 - Típica curva vertical simétrica.	47

Figura 33 - Mapeamento das seis áreas na plataforma online GEO ARAPIRACA.....	58
Figura 34 - Mapeamento das áreas 1 a 3 no software Google Earth Pro.	59
Figura 35 - Mapeamento das áreas 4 a 6 no software Google Earth Pro.	60
Figura 36 - Mapeamento das seis áreas no Google Earth Pro.	61
Figura 37 - Rosa dos ventos após análise.	62
Figura 38 - Perfis longitudinais dos traçados 1 a 6.....	64
Figura 39 - Ábaco do B737-700C - comprimento de pista necessário ao pouso (condição de flap 30).....	67
Figura 40 - Ábaco do B737-700C - comprimento de pista necessário à decolagem (temperatura ISA + 25 °C).	68
Figura 41 - Distâncias declaradas das pistas em dimensionamento.	69
Figura 42 - Planta da pista e área de segurança em relação ao perfil longitudinal.....	71
Figura 43 - Perfil longitudinal da pista 01.....	72
Figura 44 - Curva vertical A da pista 01.	73
Figura 45 - Curva vertical B da pista 01.....	74
Figura 46 - Perfil longitudinal da pista 02.....	75
Figura 47 - Perfil longitudinal da pista 03.....	75
Figura 48 - Perfil longitudinal da pista 04.....	76
Figura 49 - Perfil longitudinal da pista 05.....	76
Figura 50 - Perfil longitudinal da pista 06.....	76
Figura 51 - Planta da pista e área de segurança em relação ao perfil transversal.....	78
Figura 52 - Figura geométrica de análise da pista 01.....	79
Figura 53 - Figuras geométricas de análise: (a) pista 02; (b) pista 03.....	80
Figura 54 - Figuras geométricas de análise: (a) pista 04; (b) pista 05.....	80
Figura 55 - Figuras geométricas de análise: (a) pista 06 - 1; (b) pista 06 - 2.	80
Figura 56 - Planta das superfícies imaginárias.	83
Figura 57 - Vista superior das Superfícies imaginárias do aeroporto de Arapiraca na plataforma Google Earth Pro.....	84
Figura 58 - Superfícies imaginárias do aeroporto de Arapiraca na plataforma Google Earth Pro.....	85
Figura 59 - Seções AB e BC da pista de pouso.	87
Figura 60 - Seções CD e DE da pista de pouso.	88
Figura 61 - Seções EF e FG da pista de pouso.	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Airplane design group.	22
Tabela 2 - Aircraft approach category.	22
Tabela 3 - Dados do vento em forma de tabela.	27
Tabela 4 - Categorias de ILS.	34
Tabela 5 - Dimensões das superfícies imaginárias.	41
Tabela 6 - Temperatura e pressão padrões.	52
Tabela 7 - Parâmetros para as diretrizes gerais de desenvolvimento da rede estadual de aeroportos.	55
Tabela 8 - Levantamento das aeronaves de acordo com o PAEAL.	55
Tabela 9 - Aeronaves com previsão de operar no aeroporto de Arapiraca.	56
Tabela 10 - Componente de vento de través em função do Runway Design Code (RDC).	56
Tabela 11 - Características físicas e de operação das aeronaves.	57
Tabela 12 - Dados do vento do município de Arapiraca.	61
Tabela 13 - Máxima temperatura média diária do município de Palmeira dos Índios.	63
Tabela 14 - Altitude de referência de cada área.	65
Tabela 15 - Máxima diferença em elevação de cada traçado.	65
Tabela 16 - Características gerais da aeronave.	66
Tabela 17 - Relação entre altitude e temperatura padrão diária.	67
Tabela 18 - Altitudes e gradientes efetivos das seis pistas.	69
Tabela 19 - Comprimento final das seis pistas.	69
Tabela 20 - Dimensões do sistema da pista.	70
Tabela 21 - Dimensões das áreas de proteção da pista.	70
Tabela 22 - Valor de H da inner transitional.	71
Tabela 23 - Declividades e altitudes dos pontos do eixo da área de segurança da pista 1.	75
Tabela 24 - Elevações das cabeceiras das seis pistas.	77
Tabela 25 - Declividades e altitudes dos pontos do eixo da área de segurança referentes as seis pistas.	77
Tabela 26 - Declividades e altitudes dos pontos da seção transversal das seis pistas.	78
Tabela 27 - Verificação da linha de visão das pistas 02 a 06.	81
Tabela 28 - Dimensões das superfícies imaginárias do aeroporto de Arapiraca.	81

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

AAC	Aircraft Approach Category
ADG	Airplane Design Group
ANAC	Agência Nacional da Aviao Civil
ASDA	Accelerate Stop Distance
FAA	Federal Aviation Administration
FAR	Federal Aviation Regulations
IATA	International Air Transport Association
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICAO	International Civil Aviation Organization
IFR	Instrument Flight Rules
ILS	Instrument Landing System
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LDA	Landing Distance Available
MLW	Maximum Certificated Landing Weight
MTOW	Maximum Certificated Takeoff Weight
NCDC	National Centers for Environmental Information
NOAA	Oceanic and Atmospheric Administration
PAEAL	Plano Aeroviário do Estado de Alagoas
RBAC	Regulamento Brasileiro da Aviao Civil
RDC	Runway Design Code
SNAL	Código do Aeroporto de Arapiraca de acordo com o Código Aeroportuário do ICAO
TODA	Takeoff Distance Available
TORA	Takeoff Run Available
VFR	Visual Flight Rules
WMM	World Magnetic Model

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Considerações Iniciais	16
1.2	Objetivos	17
1.2.1	Geral	17
1.2.2	Específico	17
2	CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ARAPIRACA	18
2.1	Aspectos Geográficos	18
2.2	Aspectos Econômicos	18
2.3	Atual Infraestrutura Aeroportuária de Arapiraca.....	19
3	PROJETO GEOMÉTRICO DE PISTA DE POUSO E DECOLAGEM	21
3.1	Principais Entidades Reguladoras da Aviação Civil.....	21
3.2	Código de Referência de Aeroportos	21
3.3	Configurações Básicas de Pistas	23
3.3.1	Pista Única.....	23
3.3.2	Pistas Paralelas	24
3.3.3	Pistas Cruzadas	24
3.3.4	Pistas em V Abertas.....	25
3.4	Orientação da Pista de Pouso e Decolagem.....	25
3.5	Dimensionamento do Comprimento de Pistas	29
3.6	Distâncias Declaradas	29
3.7	Tipo de Operação de Pistas.....	31
3.8	Sistema de Pista e Áreas de Segurança.....	35
3.9	FAR Parte 77: Objetos que Afetam o Espaço Aéreo Navegável	40
3.10	Perfil Longitudinal de Pistas de Pouso e Decolagem.....	42
3.11	Perfil Transversal de Pistas de Pouso e Decolagem.....	43
3.12	Linha de visão de pistas	45

3.12.1	Ao Longo da Pista	45
3.12.2	Entre Pistas Cruzadas	45
3.12.3	Método Geral para Verificar a Linha de Visão	45
3.13	Curvas Verticais	46
4	METODOLOGIA UTILIZADA	48
4.1	Introdução	48
4.2	Localização do Aeroporto.....	48
4.3	Configuração da pista	49
4.4	Orientação das Pistas de Pouso e Decolagem.....	49
4.5	Parâmetros de Dimensionamento do Comprimento das Pistas.....	49
4.5.1	Aeronave Crítica de Projeto	49
4.5.2	Temperatura de Referência do Aeroporto	50
4.5.3	Peso Máximo de Aterragem e Decolagem da Aeronave Crítica de Projeto.....	50
4.5.4	Altitude de Referência e Gradiente Efetivo da Pista	50
4.6	Dimensionamento do Comprimento das Pistas	51
4.6.1	Dimensionamento do Comprimento Necessário ao Pouso.....	51
4.6.2	Dimensionamento do Comprimento Necessário à Decolagem	52
4.6.3	Comprimento Final Recomendado da Pista	53
4.7	Perfil Longitudinal das Pistas	53
4.8	Perfil Transversal das Pistas	53
4.9	FAR Parte 77: Objetos que Afetam o Espaço Aéreo Navegável	54
4.10	Componentes da Pista e Áreas de Segurança.....	54
4.11	Linha de Visão	54
5	RESULTADOS	55
5.1	Dimensionamento da Geometria da Pista de Pouso e Decolagem	55
5.1.1	Parâmetros de Dimensionamento do Comprimento das Pistas	55
5.1.1.1	Aeronave Crítica de Projeto	55

5.1.1.2	Localização do Aeroporto	57
5.1.1.3	Orientação da Pista de Pouso e Decolagem	61
5.1.1.4	Temperatura de Referência do Aeroporto	63
5.1.1.5	Altitude de Referência e Gradiente Efetivo da Pista.....	64
5.1.1.6	Tipo de operação da pista.....	65
5.1.2	Dimensionamento do Comprimento da Pista de Pouso e Decolagem.....	65
5.1.2.1	Pista 01	66
5.1.2.2	Demais Pistas	69
5.1.3	Distâncias Declaradas.....	69
5.1.4	Dimensionamento do Sistema da Pista e das Áreas de Segurança.....	70
5.1.5	Perfil Longitudinal da Pista de Pouso e Decolagem.....	71
5.1.5.1	Pista 01	71
5.1.5.2	Demais Pistas	75
5.1.6	Perfil Transversal da Pista de Pouso e Decolagem.....	77
5.1.6.1	Perfis Transversais das Seis Pistas	78
5.1.7	Verificação das Linhas de Visão	78
5.1.7.1	Pista 01	78
5.1.7.2	Demais Pistas	80
5.1.8	Superfícies Imaginárias do Aeroporto.....	81
5.2	Representação da Pista de Pouso e Decolagem	86
6	CONCLUSÕES	90
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	92
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

A aviação civil tornou-se uma das indústrias mais importantes e complexas do mundo. O sistema de aviação civil, em especial os seus aeroportos, são extremamente importantes para o transporte mundial e essencial para o sucesso do comércio do século XXI. O modal aeroviário também propicia uma grande contribuição para a economia mundial com a geração de empregos nas companhias aéreas, operadores de aeroportos, fabricantes de aeronaves, dentre outros. Em 2008, por exemplo, a indústria de transporte aéreo comercial impactou imensamente na economia mundial, contribuindo com mais de US\$ 2,6 trilhões em atividade econômica, equivalente a 8% do produto interno bruto mundial e gerando 29 milhões de empregos (HORONJEFF et al., 2010, p. 3).

De acordo com a Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA), o setor de transporte aéreo contribui significativamente para a economia brasileira com a criação de empregos e geração de riqueza. Em 2014, por exemplo, a indústria de transporte aéreo no Brasil empregou 270.000 pessoas, contribuindo com US\$ 32,9 bilhões em atividade econômica, equivalente a 1,4% do PIB do Brasil.

A fim de garantir a expansão saudável do setor de transporte aéreo no Brasil, é fundamental investir na infraestrutura aeroportuária brasileira atuando na modernização dos aeroportos existentes e na construção de novos aeroportos. A construção de novos aeroportos é essencial para o crescimento econômico dos municípios circunvizinhos uma vez que proporcionam maior fluxo de passageiros contribuindo para o turismo nessas regiões.

Diante do exposto acima, é essencial dimensionar os novos aeroportos adequadamente para garantir a funcionalidade do sistema aeroportuário a nível estadual e nacional, bem como garantir a segurança dos funcionários que atuam nas proximidades das pistas de pouso e decolagem como também de todos dentro das aeronaves – tripulantes e passageiros.

Diante da vital importância da infraestrutura aeroportuária para o desenvolvimento econômico de uma região, a proposta desse trabalho é executar o estudo de viabilidade técnica da implantação do aeroporto do município de Arapiraca - AL por meio do estudo realizado pela Prefeitura Municipal de Arapiraca que selecionou seis potenciais sítios propícios para a instalação do aeródromo. A fim de atingir esse objetivo, executou-se o projeto geométrico da pista de pouso e decolagem referente aos seis sítios em análise.

O projeto geométrico foi executado seguindo as diretrizes inseridas nos regulamentos e circulares consultivas publicados pela agência ligada ao Departamento dos Transportes do governo norte americano denominada Administração Federal da Aviação.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

O objetivo primordial deste trabalho é analisar a viabilidade técnica da implantação do aeroporto do município de Arapiraca - AL por meio do estudo realizado pela Prefeitura Municipal de Arapiraca que identificou seis potenciais áreas propícias para a instalação do aeródromo.

1.2.2 Específico

Executar o projeto geométrico da pista de pouso e decolagem referente aos seis sítios em análise que consiste basicamente do dimensionamento do comprimento da pista, dimensionamento do sistema de pista e das áreas de proteção, perfil longitudinal e transversal da pista, verificação da linha de visão, dimensionamento das superfícies imaginárias, representação gráfica das superfícies no software AutoCAD 2018® versão estudantil, georreferenciamento da pista através da integração do software Google Earth Pro 2015 com o AutoCAD 2018® e, por fim, representação das superfícies imaginárias no software Google Earth Pro 2015.

2 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ARAPIRACA

2.1 Aspectos Geográficos

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município possui população de 214.006 habitantes conforme o último censo realizado em 2010 e população estimada para 2017 de 234,185 habitantes. A área da unidade territorial é 345,655 km² com densidade demográfica de 600,83 hab/km².

O município está localizado na Mesorregião do Agreste Alagoano e na Microrregião Geográfica que recebe o nome do próprio município com coordenadas geográficas de 9° 45' 7" S e 36° 39' 39" O. Arapiraca está distante 135 km de Maceió – capital do estado de Alagoas – e tem como principais vias de acesso as rodovias BR 316, AL 110, AL 101 Sul, BR 101 e AL 220. Ademais, o município está situado numa ampla planície com elevação em relação ao nível do mar de 265m (MENDONÇA; SIMÕES, 2012, p. 261).

A Figura 1 apresenta a localização do município de Arapiraca dentro do estado de Alagoas.



Figura 1 - Localização geográfica do município de Arapiraca em Alagoas.

Fonte: Conteúdo da internet, disponível em:
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alagoas_MesoMicroMunicip.svg.

2.2 Aspectos Econômicos

Durante as décadas de 50 e 80, Arapiraca vivenciou um grande crescimento no cultivo de fumo que chegou a totalizar uma área cultivada de 50 mil hectares. Esse período é marcado por uma produção crescente de fumo que exportava milhares de toneladas para diversos

estados brasileiros e para o exterior, firmando esta área do Agreste como região fumageira (MENDONÇA; SIMÕES, 2012, p. 257).

De acordo com a Prefeitura Municipal, ocorreu um ciclo de decadência da fumicultura a partir da década de 70 devido à grande área plantada de fumo que acarretou em excesso do produto nas pequenas indústrias de beneficiamento do tabaco que existia na região e, conseqüentemente, diminuição do preço. Nesse sentido, o comércio passou a promover o crescimento econômico no município a partir da década de 80 com destaque para a tradicional feira livre. Ademais, o setor industrial tem apresentado relativo crescimento nos últimos anos contribuindo consideravelmente para a economia local.

2.3 Atual Infraestrutura Aeroportuária de Arapiraca

De acordo com o Plano Aeroviário do Estado de Alagoas (PAEAL), o atual aeródromo do município de Arapiraca está inserido na área urbana com acesso pela rodovia estadual AL 110. A localidade das instalações do aeródromo apresenta relevo plano com presença de leves ondulações, entretanto, o uso do solo nos arredores desta unidade aeroportuária oferece restrições a sua expansão visto que se encontra parcialmente envolvido pela malha urbana. Ademais, SNAL é o código do atual aeroporto de Arapiraca conforme o código aeroportuário criado pela ICAO.

A Figura 2 apresenta a atual disposição do aeródromo de Arapiraca onde notoriamente existe a presença de ocupações urbanas no entorno da unidade aeroportuária.



Figura 2 - Disposição do atual aeródromo de Arapiraca.

Fonte: Google Earth Pro 2015.

Segundo a Secretaria de Estado da Infraestrutura de Alagoas, o estado foi inserido no programa do governo federal – Programa de Investimentos em Logística - Aeroportos – que

visa ampliar e aperfeiçoar a infraestrutura aeroportuária brasileira. As cidades de Maragogi e Arapiraca serão contempladas com a construção de novos aeroportos. Devido ao problema de expansão do atual aeródromo, o novo aeroporto de Arapiraca será construído em uma área diferente e apropriada, fora do perímetro urbano.

3 PROJETO GEOMÉTRICO DE PISTA DE POUSO E DECOLAGEM

3.1 Principais Entidades Reguladoras da Aviação Civil

A Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO) é a agência reguladora de âmbito internacional que estabelece as diretrizes gerais para a aviação internacional com sede em Montreal, Canadá. A Entidade tem como objetivo primordial desenvolver princípios e técnicas da navegação aérea internacional e promover o planejamento e desenvolvimento do transporte aéreo internacional para assegurar um crescimento seguro e ordenado (HORONJEFF et al., 2010, p. 44).

No Brasil, a agência responsável por regular e fiscalizar as atividades da aviação civil e a infraestrutura aeronáutica e aeroportuária é a Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC) com sede em Brasília. A ANAC foi criada em 2005 com o intuito de substituir o Departamento de Aviação Civil (AGÊNCIA NACIONAL DA AVIAÇÃO CIVIL, 2016).

A Administração Federal da Aviação é a entidade governamental dos Estados Unidos responsável pela operação segura e eficiente do sistema nacional da aviação civil em todo o território norte americano com sede em Washington, D.C. (HORONJEFF et al., 2010, p. 37).

Nas seções subsequentes serão descritos os itens necessários para a elaboração do projeto geométrico da pista de pouso e decolagem conforme prescrito nos regulamentos e circulares consultivas publicados pela Administração Federal da Aviação visto que essa entidade tem abrangência internacional.

3.2 Código de Referência de Aeroportos

O código de referência de aeroportos é uma classificação baseada nas características físicas e de operação da aeronave crítica de projeto. Ademais, os aeroportos são agrupados em duas grandes categorias: “*utility airports*” e “*transport airports*”. A primeira categoria é destinada à comunidade da aviação geral e geralmente acomoda pequenas aeronaves, enquanto que na segunda podem ser acomodadas tanto aeronaves de pequeno porte quanto aeronaves de grande porte (ASHFORD; MUMAYIZ; WRIGHT, 2011, p. 321).

A Administração Federal da Aviação (FAA) na circular consultiva nº 150/5300-13A classifica as aeronaves em seis categorias em relação as suas características físicas – altura da cauda e envergadura – sendo representada por números romanos de I a VI como apresentado na Tabela 1. Essa classificação é denominada de *airplane design group*.

Tabela 1 - Airplane design group.

Fonte: Circular consultiva nº 150/5300-13A, adaptada pelo autor.

Design group	Tail Height (ft [m])	Wingspan (ft [m])	Representative Aircraft
I	< 20' (< 6 m)	< 49' (< 15 m)	CESSNA 172, BEECH 26
II	20' - < 30' (6 m - < 9 m)	49' - < 79' (15 m - < 24 m)	FALCON 50, CHALLENGER 605
III	30' - < 45' (9 m - < 13.5 m)	79' - < 118' (24 m - < 36 m)	BOEING 737, AIRBUS 320, E190, ATR 72
IV	45' - < 60' (13.5 m - < 18.5 m)	118' - < 171' (36 m - < 52 m)	BOEING 767, BOEING 757, AIRBUS A300
V	60' - < 66' (18.5 m - < 20 m)	171' - < 214' (52 m - < 65 m)	BOEING 747, AIRBUS A340, BOEING 777
VI	66' - < 80' (20 m - < 24.5 m)	214' - < 262' (65 m - < 80 m)	AIRBUS A380, ANTONOV 124

A FAA na circular consultiva nº 150/5300-13A define cinco categorias de velocidade de aproximação em *knots*¹ que representa a característica operacional da aeronave. Essa classificação é representada por letras de A a E sendo denominada de *aircraft approach category* conforme ilustrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Aircraft approach category.

Fonte: Circular consultiva nº 150/5300-13A.

AAC	VREF/Approach Speed
A	Approach speed less than 91 knots
B	Approach speed 91 knots or more but less than 121 knots
C	Approach speed 121 knots or more but less than 141 knots
D	Approach speed 141 knots or more but less than 166 knots
E	Approach speed 166 knots or more

Em relação à velocidade de aproximação, *utility airports* são projetados e construídos para acomodar aeronaves de classe A e B, enquanto que *transport airports* são planejados para operar aeronaves de classe C, D e E. A Figura 3 combina as duas classificações – *airplane design group* e *aircraft approach category* – a fim de fornecer orientação na tomada de decisão do tipo de aeroporto (ASHFORD; MUMAYIZ; WRIGHT, 2011, p. 321).

¹ 1 knots = 0,5 m/s = 1,9 km/h.

Wingspan, ft	Utility Airplane Design group	Approach speed, knots					Transport Airplane Design Group
		< 91 Cat. A	91-120 Cat. B	121-140 Cat. C	141-165 Cat. D	≥ 166 Cat. E	
< 49 ^a < 49	I ^a	←	←	←	←	←	I
49 up to 79	II	←	←	←	←	←	II
79 up to 118	III	←	←	←	←	←	III
118 up to 171	IV	←	←	←	←	←	IV
171 up to 214						←	V
214 up to 262						←	VI

^aApplies to airports that are to serve only small airplanes.

Figura 3 - Combinação dos parâmetros físico e operacional das aeronaves.

Fonte: (ASHFORD; MUMAYIZ; WRIGHT, 2011).

3.3 Configurações Básicas de Pistas

As pistas de pouso e decolagem de um aeródromo podem ter inúmeras configurações no qual dependem basicamente das condições climáticas do local, topografia do aeroporto, distribuição do vento e condições de visibilidade, dentre outros fatores. As configurações básicas são pista única, pistas paralelas, pistas cruzadas e pistas em V abertas (HORONJEFF et al., 2010, p. 177).

3.3.1 Pista Única

É a configuração mais simples de pistas no qual tem capacidade de acomodar entre 50 e 100 operações por hora sob condições *VFR* e entre 50 e 70 operações por hora sob condições *IFR* (HORONJEFF et al., 2010, p. 178).

A Figura 4 ilustra a situação no qual o aeroporto é dotado de uma configuração de pista única.



Figura 4 - Aeroporto de Madeira com configuração de pista única.

Fonte: Google Earth Pro.

3.3.2 *Pistas Paralelas*

Esse tipo de configuração é implementado com o intuito de aumentar a capacidade de operação horária do aeroporto. As pistas paralelas são designadas de acordo com o espaçamento entre seus eixos: 700 ft a 2500 ft é designada como próxima; 2500 ft a 4300 ft é classificada como intermediária; mais de 4300 ft é designada como distante. Ademais, a capacidade desta configuração depende basicamente do número de pistas e do espaçamento entre elas (HORONJEFF et al., 2010, p. 178).

A Figura 5 apresenta o caso em que o aeroporto é dotado de uma configuração de pistas paralelas.



Figura 5 - Aeroporto Santos Dumont com configuração de pistas paralelas.

Fonte: Google Earth Pro.

3.3.3 *Pistas Cruzadas*

Pistas cruzadas são utilizadas em locais com histórico de ventos fortes predominantes em mais de uma direção ao longo do ano de forma a diminuir o impacto do vento de través nas operações das aeronaves. Quando os ventos em uma direção são considerados intensos as operações são limitadas a apenas uma pista, enquanto que em casos onde o vento é moderado, ambas as pistas podem ser utilizadas simultaneamente (HORONJEFF et al., 2010, p. 181).

A Figura 6 apresenta a situação no qual o aeroporto é dotado de uma configuração de pistas cruzadas.



Figura 6 - Aeroporto Afonso Pena com configuração de pistas cruzadas.

Fonte: Google Earth Pro.

3.3.4 Pistas em V Abertas

Essa configuração compreende duas pistas que divergem em diferentes direções, entretanto, não se interceptam, formando uma configuração de V aberto. Pistas em V abertas funcionam de forma similar as pistas cruzadas, ou seja, quando os ventos em uma direção são fortes, somente uma pista é utilizada de forma a garantir a segurança nas operações de pouso e decolagem (HORONJEFF et al., 2010, p. 181).

A Figura 7 apresenta o caso no qual o aeroporto é dotado de uma configuração de pistas em V abertas.



Figura 7 - Aeroporto Galeão com configuração de pistas em V abertas.

Fonte: Google Earth Pro.

3.4 Orientação da Pista de Pouso e Decolagem

De acordo com a FAA na circular consultiva nº 150/5300-13A, o vento é um fator importante na determinação da orientação da pista de pouso e decolagem uma vez que as

condições de vento podem ocasionar pequenos acidentes e afetar estruturalmente as aeronaves.

O método mais amplamente aplicado internacionalmente para a determinação da orientação da pista é baseado na análise do vento por meio da rosa dos ventos.

A correta orientação da pista ou das pistas que fazem parte de um aeroporto pode ser determinada por meio da análise vetorial gráfica usando o método da rosa dos ventos. O método da rosa dos ventos consiste em uma série de círculos concêntricos cortados por linhas radiais usando papel com coordenadas gráficas polares. As linhas radiais são desenhadas na escala da magnitude do vento de modo que a área entre cada par de linhas sucessivas é centrada na direção do vento (HORONJEFF et al., 2010, p. 186, tradução nossa).

A orientação da pista de pouso e decolagem depende estritamente da análise do vento – direção e velocidade – na localidade das instalações do aeroporto, bem como das características de desempenho da aeronave. Nesse sentido, as aeronaves devem pousar e decolar na direção predominante do vento. A numeração das cabeceiras da pista é obtida a partir da leitura do azimute em graus em relação ao norte magnético dividido por dez. Entretanto, a rosa dos ventos é baseada no norte verdadeiro conforme mostra a Figura 8, portanto, é necessário considerar a declinação magnética para designar a correta numeração das cabeceiras da pista (ASHFORD; MUMAYIZ; WRIGHT, 2011, p. 306).

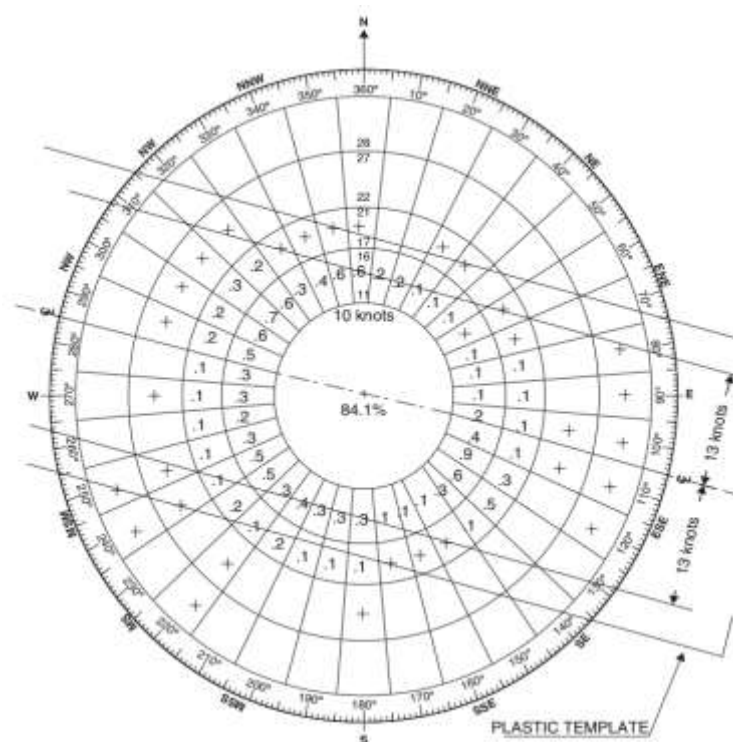


Figura 8 - Rosa dos ventos para vento de través admissível de 13 knots.

Fonte: (ASHFORD; MUMAYIZ; WRIGHT, 2011).

A FAA na circular consultiva nº 150/5300-13A, estabelece que as pistas de pouso e decolagem devem ser orientadas de modo que as aeronaves possam pousar pelo menos 95% do tempo com componente de vento de través menor ou igual ao admissível de acordo com os limites de cada categoria de RDC, caso contrário, uma pista secundária é requerida de forma que a cobertura total do vento com mínimo de 95% seja atendida.

Para a determinação da cobertura total do vento é preciso obter dados do vento por um período mínimo de cinco anos em porcentagem de ocorrência de cada direção existente na rosa dos ventos e agrupá-los em relação à velocidade conforme a Tabela 3. Além disso, os dados podem ser transferidos para a forma gráfica da rosa dos ventos como ilustra a Figura 9 (KAZDA; CAVES, 2007, p. 47).

Tabela 3 - Dados do vento em forma de tabela.

Fonte: (HORONJEFF et al., 2010), adaptado pelo autor.

Sector	True Azimuth	Wind Speed Range, knots				Total
		4-15	15-20	20-25	25-35	
		Percentage of Time				
N	0	2,4	0,4	0,1	0	2,9
NNE	22,5	3	1,2	1	0,5	5,7
NE	45	5,3	1,6	1	0,4	8,3
ENE	67,5	6,8	3,1	1,7	0,1	11,7
E	90	7,1	2,3	1,9	0,2	11,5
ESE	112,5	6,4	3,5	1,9	0,1	11,9
SE	135	5,8	1,9	1,1	0	8,8
SSE	157,5	3,8	1	0,1	0	4,9
S	180	1,8	0,4	0,1	0	2,3
SSW	202,5	1,7	0,8	0,4	0,3	3,2
SW	225	1,5	0,6	0,2	0	2,3
WSW	247,5	2,7	0,4	0,1	0	3,2
W	270	4,9	0,4	0,1	0	5,4
WNW	292,5	3,8	0,6	0,2	0	4,6
NW	315	1,7	0,6	0,2	0	2,5
NNW	337,5	1,7	0,9	0,1	0	2,7
Subtotal		60,4	19,7	10,2	1,6	91,9
Calms						8,1
Total						100

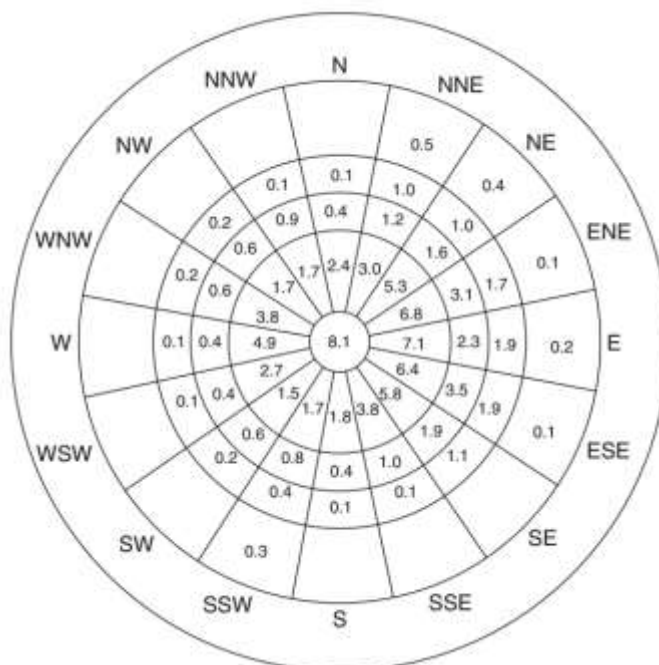


Figura 9 - Dados do vento inseridos na rosa dos ventos.

Fonte: (HORONJEFF et al., 2010).

O método da rosa dos ventos utiliza uma faixa transparente composto por três retas paralelas equidistantes na mesma escala da rosa dos ventos. A linha central da faixa representa o eixo da pista de pouso e decolagem, enquanto que a largura da faixa – distância entre as duas linhas externas – é igual a duas vezes o vento de través admissível, no exemplo da Figura 8, o vento de través é 13 knots (ASHFORD; MUMAYIZ; WRIGHT, 2011, p. 307).

Ashford, Mumayiz e Wright (2011, p. 307) apresenta quatro passos para determinar a melhor orientação da pista e determinar a porcentagem de tempo que a orientação respeita as limitações de vento de través:

1. Colocar a faixa transparente na rosa dos ventos de modo que a linha central passe pelo centro da rosa dos ventos;
2. Usar o centro da rosa dos ventos como ponto de apoio e rotacionar a faixa transparente até que a soma das porcentagens entre as linhas paralelas externas seja máxima;
3. Efetuar a leitura do azimute verdadeiro da pista na escala de fora da rosa dos ventos;
4. A soma das porcentagens entre as linhas paralelas externas indica a porcentagem de tempo que uma pista de pouso e decolagem com a orientação proposta estará em conformidade com os padrões de vento de través.

3.5 Dimensionamento do Comprimento de Pistas

O comprimento de pistas deve ter dimensão suficiente para permitir que aeronaves com previsão de operar em determinado aeroporto possam pousar e decolar com segurança. O dimensionamento do comprimento de pistas é uma das etapas mais críticas e importantes no projeto de um aeroporto uma vez que o comprimento da pista rege o tamanho e custo do aeroporto, além de controlar o tipo de aeronave que operará no aeródromo. (ASHFORD; MUMAYIZ; WRIGHT, 2011, p. 312).

A FAA na circular consultiva n° 150/5325-4B, define os procedimentos e parâmetros necessários para o dimensionamento do comprimento de pistas. O procedimento para estimar o comprimento de determinada pista é baseado nos seguintes parâmetros:

- Designação da aeronave crítica de projeto;
- Peso máximo de aterragem e decolagem da aeronave crítica do aeroporto;
- Altitude de referência do aeroporto;
- Máxima temperatura média diária do mês mais quente no aeroporto;
- A máxima diferença de elevação ao longo do eixo da pista (gradiente efetivo da pista).

O comprimento da pista é estimado com base nas características de desempenho da aeronave crítica de projeto selecionada. As especificações de desempenho são encontradas nos manuais de operação das aeronaves fornecidos pelas próprias fabricantes no qual possuem ábacos que servem para determinar o comprimento da pista necessário para aterragem e decolagem em função da configuração operacional da aeronave (HORONJEFF et al., 2010, p. 198).

3.6 Distâncias Declaradas

A Administração Federal da Aviação na circular consultiva n° 150/5300-13A, estabelece que as distâncias declaradas representam as distâncias máximas disponíveis para que uma aeronave operante em um aeroporto pouse e decole com segurança. Ademais, as distâncias declaradas são utilizadas apenas em casos em que não é possível atender os critérios mínimos de dimensionamento das áreas de segurança ou para mitigar impactos ao meio ambiente.

As distâncias declaradas são compostas por pista disponível para corrida de decolagem (TORA – *takeoff run available*), distância disponível para decolagem (TODA – *takeoff*

distance available), distância disponível para aceleração e parada (ASDA – *accelerate stop distance available*) e a distância disponível para pouso (LDA – *landing distance available*). Ademais, suas dimensões são variáveis em função da situação e característica do local em que o aeroporto será construído (KAZDA; CAVES, 2007, p. 88).

No caso em que as pistas não possuem uma zona de parada (stopway) ou zona desimpedida (clearway) e se a cabeceira estiver na extremidade da pista, as quatro distâncias declaradas mencionadas acima terão comprimentos iguais ao comprimento total da pista conforme ilustrado na Figura 10, letra A. Quando a pista é dotada de uma zona desimpedida, o comprimento desta será adicionado no comprimento da TODA como ilustra a Figura 10, letra B. Na situação em que a pista é dotada de uma zona de parada, o comprimento desta será acrescentado na distância da ASDA conforme apresentado na Figura 10, letra C. Na ocasião em que a pista possui cabeceira recuada, a distância de recuo será reduzida da distância LDA, como ilustrado na Figura 10, letra D. Além disso, podem existir situações em que a pista é dotada de mais de uma dessas características simultaneamente conforme apresentado na Figura 10, letra E (GRAVES; JONES, 2013, p. 3-21).

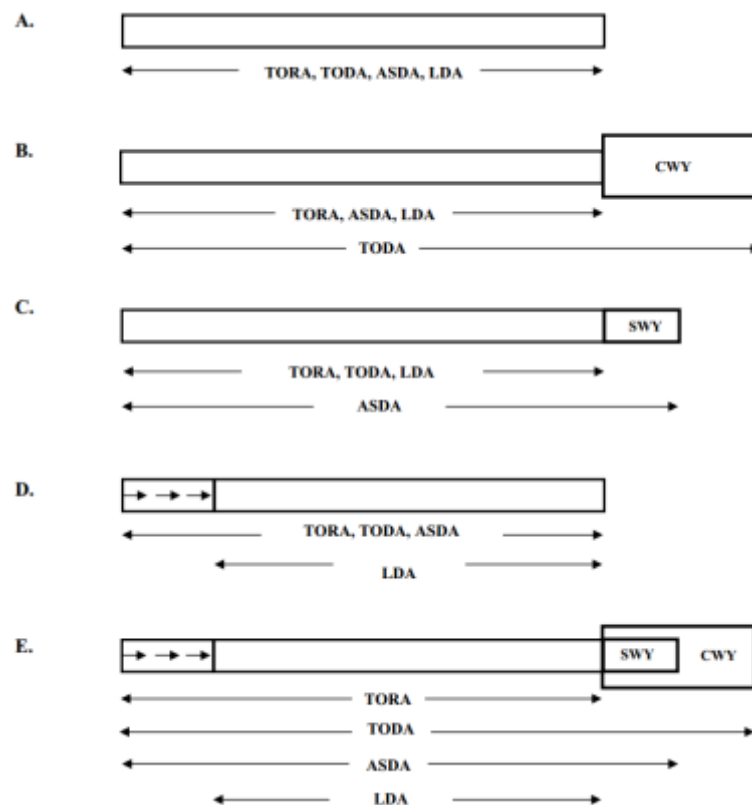


Figura 10 - Representação das distâncias declaradas.

Fonte: (GRAVES; JONES, 2013).

3.7 Tipo de Operação de Pistas

A Agência Nacional da Aviação Civil na RBAC nº 154, define que é de suma importância a definição do tipo de operação da pista de pouso e decolagem para o correto dimensionamento da geometria da pista. Nesse sentido, é preciso definir premissas que auxiliarão na definição do tipo de operação, por exemplo, se o aeroporto funcionará sob todas as condições meteorológicas ou apenas visuais e se o aeroporto operará no período diurno e noturno, ou somente diurno.

O tipo de operação de um aeródromo é classificado basicamente em duas categorias: regras de voo visual (VFR – *visual flight rules*) e regras de voo por instrumento (IFR – *instrument flight rules*). VFR é o conjunto de procedimentos e regras utilizados na operação de aeronaves em aproximação quando as condições meteorológicas são suficientemente boas e quando as densidades de tráfego são consideravelmente pequenas de modo que permitem que o piloto controle visualmente a altitude da aeronave em relação ao solo e outras aeronaves, Figura 11, (a). Por outro lado, IFR é o conjunto de procedimentos e regras utilizados na operação de aeronaves em aproximação quando a visibilidade ou o teto (altura das nuvens acima do nível do solo) não atendem aos requisitos mínimos do VFR ou quando as densidades de tráfego aéreo são suficientemente elevadas de modo que exigem a utilização das condições de controle por instrumento, Figura 11, (b) (ASHFORD; MUMAYIZ; WRIGHT, 2011, p. 182).



(a)



(b)

Figura 11 - Exemplos de condições meteorológicas: (a) Voo VFR; (b) Voo IFR.

Fonte: Conteúdo da internet, disponível em: <https://hangaruno.wordpress.com/2015/09/14/diferencas-ente-voov-ifr-e-vfr/>.

De acordo com Goldner (2012, p. 104), as condições de controle por IFR podem ser classificadas em duas categorias: IFR não-precisão e IFR precisão. No primeiro caso, utiliza-se para orientação de aproximação auxílios à navegação de não-precisão, por exemplo, radar de terminal, radiofarol não direcional (NDB – *non-directional beacon*) e VOR (*VHF omni*

directional radio range). No caso de IFR de precisão, usa-se para orientação de aproximação informações de azimute e rampa de planeio que são fornecidas por auxílios à navegação de precisão, por exemplo, radar de aproximação de precisão e sistema de pouso por instrumento (ILS – *Instrument landing system*).

Segundo o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (2011), o sistema de pouso por instrumento é um dispositivo que auxilia o piloto no momento de aproximação e pouso sob condições de teto e visibilidade restritas fornecendo basicamente duas informações primordiais: eixo da pista e trajetória ideal de planeio.

O ILS consiste em dois transmissores de sinais de rádio localizados nas proximidades da pista. O intuito dos transmissores é indicar ao piloto a orientação lateral do avião em relação ao eixo da pista por meio do localizador (LOC – *Localizer*) conforme ilustrado na Figura 12 , (a), e informar o correto ângulo de planeio em direção a pista com a utilização do *glide slope*, Figura 12, (b). O localizador é composto por uma antena situada 1000 ft após a cabeceira da pista oposta à qual se executa a aproximação, enquanto que o *glide slope* está localizado a 750 e 1250 ft após a cabeceira da pista com distância lateral a partir do eixo da pista variando entre 400 e 650 ft (HORONJEFF et al., 2010, p. 118).



(a)



(b)

Figura 12 - Antenas dos transmissores: (a) Localizer; (b) Glide slope.

Fonte: Conteúdo da internet, disponível em: <http://www.hispaviacion.es/sistema-instrumental-de-aterrizaje-el-ils/>

O desvio para a esquerda ou direita da extensão do eixo da pista proveniente do localizador e o desvio abaixo ou acima da trajetória ideal de planeio informado pelo *glide slope* são exibidos no painel de controle da cabine do piloto por meio do aparelho indicador analógico ou aparelho indicador em tela digital conforme ilustrado na Figura 13. (ASHFORD; MUMAYIZ; WRIGHT, 2011, p. 195).



Figura 13 - Aparelhos indicadores: (a) Analógico; (b) Digital.

Fonte: (a) Conteúdo da internet, disponível em: <http://www.ftav.com/product/066-3034-25/>; (b) Fonte: Conteúdo da internet, disponível em: <http://www.pmfliight.co.uk/a320-primary-flight-display/>

Horonjeff et al. (2010, p. 118), algumas instalações possuem marcadores nas proximidades da pista para auxiliar ainda mais o piloto na aproximação por ILS. No momento que a aeronave sobrevoa os marcadores, um sinal visual ou sonoro é acionado na cabine do piloto de forma que indica a distância atual da aeronave em relação à cabeceira da pista. Existem três marcadores: marcador externo (LOM – *outer maker*) localizado aproximadamente entre 5,5 a 8 km da pista; marcador médio (MM – *middle maker*) situado aproximadamente a 1000 m da pista; marcador interno (IM – *inner maker*) localizado a aproximadamente 300 m da pista. A Figura 14 ilustra a configuração do sistema de pouso por instrumento.

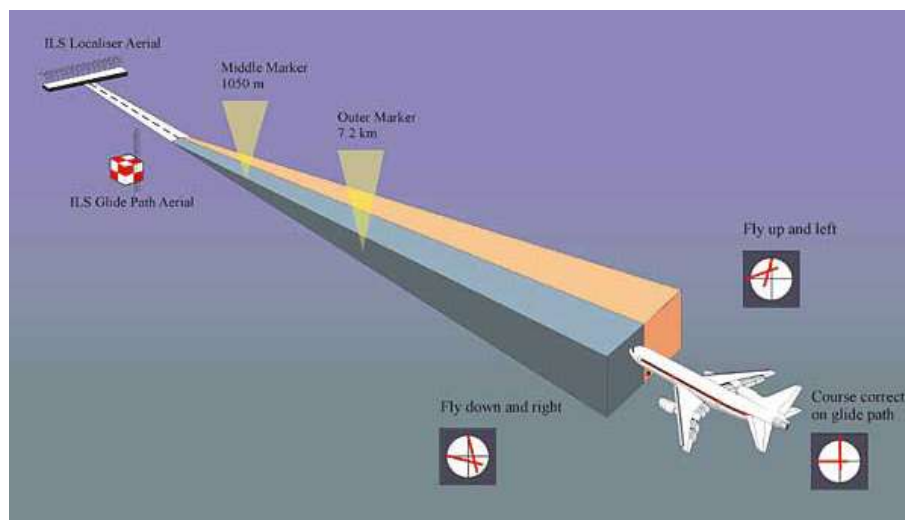


Figura 14 - Configuração do ILS

Fonte: Conteúdo da internet, disponível em: <http://www.hispaviacion.es/sistema-instrumental-de-aterizaje-el-ils/>

O ILS é categorizado em função da altura de decisão (DH – *decision height*) e do alcance visual da pista (RVR – *runway visual range*) no qual existem basicamente três tipos conforme apresentado na Tabela 4 e exemplificado na Figura 15.

Tabela 4 - Categorias de ILS.

Fonte: (HORONJEFF et al., 2010), adaptada pelo autor.

Category	Decision Height (ft [m])	RVR (ft [m])
CAT I	200 ft (60 m)	1800 - 2400 ft (550 - 800 m)
CAT II	100 ft (30 m)	1200 ft (350 m)
CAT IIIa	0 - 100 ft (0 - 30 m)	700 ft (200 m)
CAT IIIb	0 - 50 ft (0 - 15 m)	150 ft (50m)
CAT IIIc	0 ft (0 m)	0 ft (0 m)

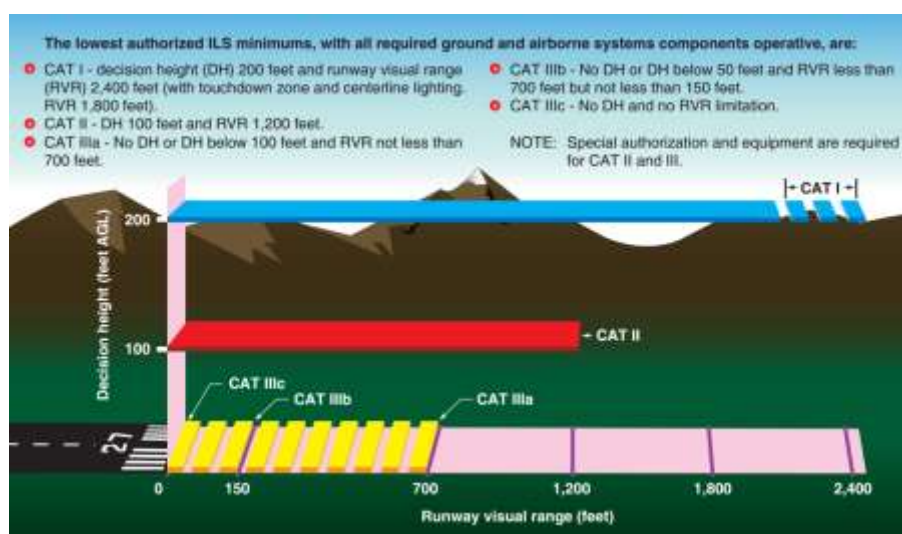


Figura 15 - Categorias de ILS de acordo com a FAA.

Fonte: (ADMINISTRAÇÃO FEDERAL DA AVIAÇÃO, H-8083-16A, 2015).

A altura de decisão é a altura especificada em um procedimento de aproximação de precisão em que uma aproximação perdida deverá ser iniciada caso as referências visuais exigidas para continuar a aproximação com segurança não sejam atendidas. O alcance visual de pista é a distância horizontal na qual o piloto de uma aeronave localizada no eixo de uma pista no momento de aproximação pode visualizar os sinais da superfície da pista, luzes delimitadoras ou luzes centrais da pista (KAZDA; CAVES, 2007, p. 53).

Segundo a Secretaria Nacional de Aviação Civil (2015), o sistema de pouso por instrumento está implantando em 32 aeroportos em todo o Brasil e a previsão é que esse número aumente consideravelmente ao longo dos anos. A Figura 16 ilustra os aeroportos atuais com ILS.



Figura 16 - Lista de aeroportos com ILS.

Fonte: Conteúdo da internet, disponível em: <http://www.aviacao.gov.br/noticias/2014/07/brasil-e-referencia-em-sistema-de-pouso-por-aparelho>.

Como pode ser observado na Figura 16, a grande maioria dos aeroportos brasileiros contam com sistema de pouso por instrumento categoria I ao invés das categorias II e III. Isso ocorre principalmente devido ao custo elevado de implantação dos equipamentos aéreos e terrestres que compõem as categorias II e III.

Segundo Kazda e Caves (2007, p. 50), a atualização do sistema de pouso por instrumento da categoria I para categoria II ou III engloba mais fatores econômicos do que técnicos devido ao custo elevado de modernização dos equipamentos tanto terrestres quanto aéreos, treinamento da tripulação e emissão de certificação para pilotos, operadores e aeronaves. Apesar do alto custo de modernização do sistema, em localidades que sofrem com condições meteorológicas adversas rotineiramente, essa é a única maneira de garantir a confiabilidade das operações do aeroporto ao longo do ano sem significantes interrupções e, conseqüentemente, propiciará retorno financeiro tanto para o aeroporto quanto para as companhias aéreas visto que não haverá pausa das operações durante condições meteorológicas adversas.

3.8 Sistema de Pista e Áreas de Segurança

O sistema de pista de um aeroporto é composto pelo pavimento estrutural, acostamentos, *blast blads* e área de segurança da pista conforme ilustrado na Figura 17. Ademais, o sistema de pista abrange inúmeras áreas de proteção tais como a *runway object*

free area (ROFA), runway object free zone (ROFZ), precision obstacle free zone (POFZ) e approach and departure runway protection zone (RPZ) (HORONJEFF et al., 2010, p. 201).

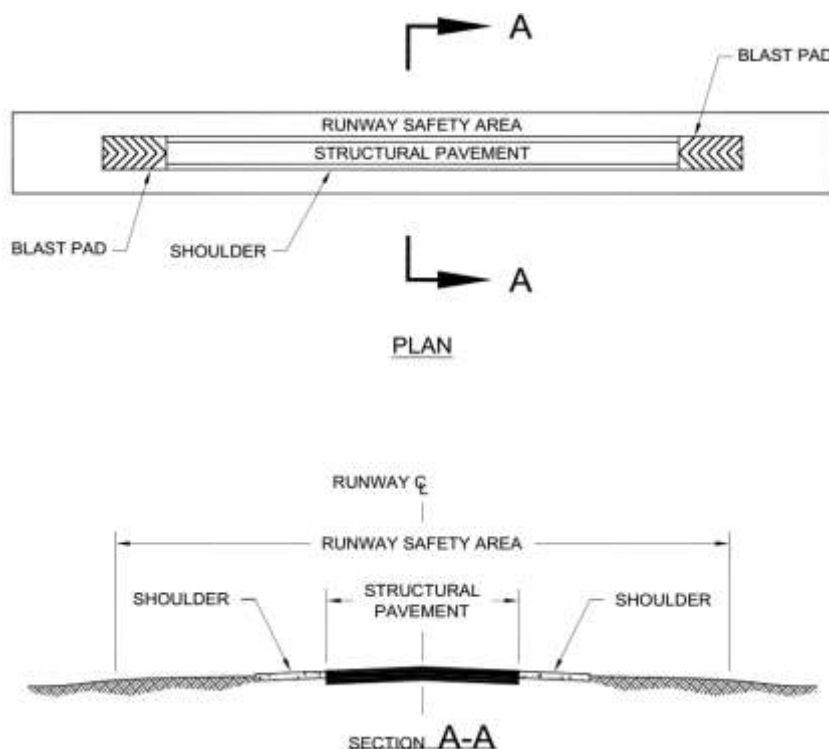


Figura 17 - Sistema de pista.

Fonte: (ADMINISTRAÇÃO FEDERAL DA AVIAÇÃO, AC 150/5300-13A).

Horonjeff et al. (2010, p. 202), define os componentes referentes ao sistema de pista mencionados anteriormente:

- Pavimento estrutural é o elemento que suporta diretamente as cargas provenientes das aeronaves fornecendo critérios operacionais e dimensionais compatível com o tipo de aeronave.
- O acostamento da pista estende-se simetricamente em cada um dos lados da pista com o objetivo de resistir à erosão ocasionado pelo vento gerado pelos motores das aeronaves, efeito conhecido como jet blast, além de acomodar equipamentos de manutenção e emergência.
- O *blast pad* é uma área localizada nas extremidades da pista de pouso e decolagem com o intuito de prevenir erosão das superfícies adjacentes às extremidades da pista devido ao efeito do jet blast e propeller wash.
- A área de segurança da pista é uma área ao redor da pista de pouso e decolagem adequada para mitigar os riscos de danos as aeronaves em casos de *undershoot, overshoot ou excursion* da pista.

A FAA na circular consultiva n° 150/5300-13A, define as demais áreas de proteção:

- A *runway object free area* é uma área de terra bidimensional em torno da pista no qual deve estar livre de aeronaves estacionadas e objetos que não possuem localização fixada por função como ilustrado na Figura 18.
- A *runway obstacle free zone* é uma porção de volume do espaço aéreo centralizado acima do eixo da pista cuja elevação em qualquer ponto é a mesma que a elevação do ponto mais próximo do eixo da pista conforme apresentado na Figura 19.
- A *inner approach obstacle free zone* é o espaço aéreo acima da superfície centrada no prolongamento do eixo da pista começando 200 ft após a cabeceira da pista com a mesma elevação da cabeceira e se estende 200 ft após a última unidade de luz do sistema de iluminação de aproximação. Além disso, possui largura igual ao da *runway obstacle free zone* e taxa de inclinação de 50:1 (horizontal:vertical) como ilustrado na Figura 19.
- A *inner transitional obstacle free zone* é uma porção de volume do espaço aéreo ao longo das laterais da *runway and inner approach obstacle free zone*. Essa área aplica-se somente para pistas com instrumentos de precisão, por exemplo, ILS, e sua taxa de inclinação depende da categoria de ILS instalado. Por fim, sua altura final é de 150 ft (horizontal surface height) acima da altitude de referência do aeroporto conforme apresentado na Figura 20.
- A *precision obstacle free zone* é uma porção de volume do espaço aéreo acima de uma área com início na cabeceira da pista e centralizado com a extensão do eixo da pista como apresentado na Figura 21.
- A *runway protection zone* é uma área no solo localizada antes da cabeceira da pista utilizada para aumentar a segurança de pessoas e objetos perto da área de aproximação como ilustrado na Figura 22.

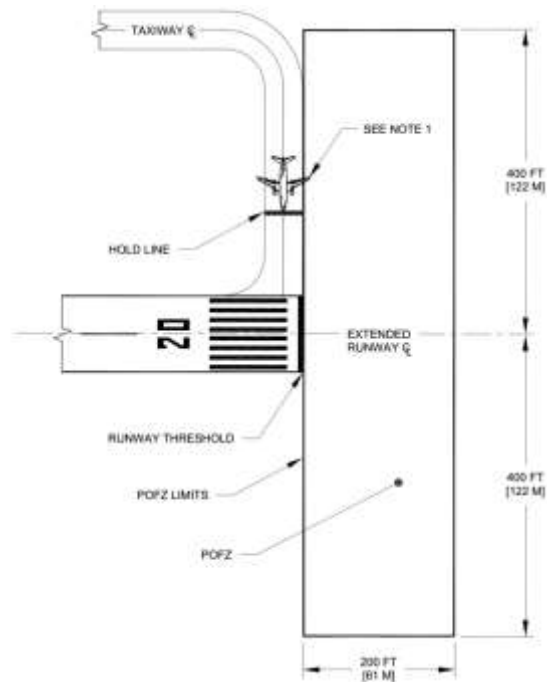


Figura 21 - Ilustração da POFZ.

Fonte: (ADMINISTRAÇÃO FEDERAL DA AVIAÇÃO, AC 150/5300-13A).

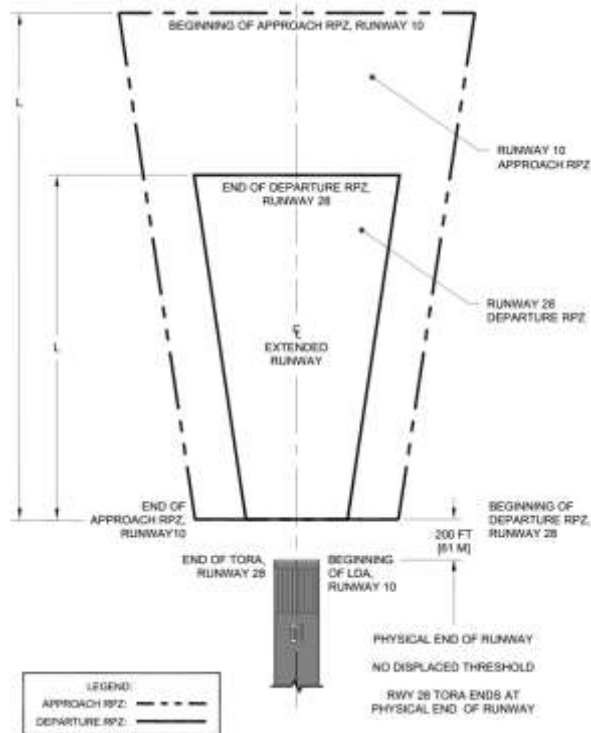


Figura 22 - Representação da approach/departure RPZ.

Fonte: (ADMINISTRAÇÃO FEDERAL DA AVIAÇÃO, AC 150/5300-13A).

As dimensões dos componentes do sistema de pista e das áreas de proteção mencionados anteriormente são definidas em função da *aircraft approach category* (AAC), *airplane design group* (ADG) e *visibility minimums*. Em complemento, esses três parâmetros combinados formam o *runway design code* (RDC).

3.9 FAR Parte 77: Objetos que Afetam o Espaço Aéreo Navegável

Aeroportos devem ser construídos em áreas onde o espaço aéreo é livre de obstruções que podem ocasionar perigo para aeronaves nas proximidades da pista no momento de aterrissagem e decolagem ou na execução de manobras no espaço aéreo vizinho. Além disso, é necessário manter o espaço aéreo ao redor do aeroporto livre de obstáculos de forma a evitar o desenvolvimento e crescimento de obstruções ao espaço aéreo que podem tornar o aeroporto inutilizável (ASHFORD; MUMAYIZ; WRIGHT, 2011, p. 309).

Segundo Young e Wells (2011, p. 218), as aeronaves que decolam e aterrissam em uma pista de pouso e decolagem precisam de uma área livre de obstruções para operarem com segurança. Nesse sentido, a FAA publicou a FAR Parte 77 – Objetos que Afetam o Espaço Aéreo Navegável – no qual define um conjunto de superfícies imaginárias. Essas superfícies são utilizadas como referências pelos projetistas, pela gestão aeroportuária e pela própria FAA para verificar se um terreno natural ou estruturas construídas pelo homem configuram obstruções para a navegação segura de aeronaves em operação de aproximação em uma pista.

Horonjeff et al. (2010, p. 218), as dimensões das superfícies imaginárias dependem exclusivamente da categoria do aeroporto – *utility ou transport airport* – e do tipo de operação da pista – visual, IFR não-precisão ou IFR precisão.

As superfícies imaginárias estão ilustradas na Figura 23 e são descritas da seguinte forma:

Superfície primária: A superfície primária é uma superfície longitudinalmente centrada em uma pista. Quando a pista é pavimentada, a superfície primária se estende 200 feet além de cada extremidade da pista. Quando a pista não é pavimentada, a superfície primária coincide com cada extremidade da pista. A elevação da superfície primária é a mesma que a elevação do ponto mais próximo na linha central da pista;

Superfície horizontal: A superfície horizontal é um plano horizontal a 150 feet acima da elevação estabelecida do aeroporto, cujo perímetro é formado por arcos de raios específicos do centro de cada extremidade da superfície primária da pista de pouso e decolagem, conectando os arcos adjacentes por linhas tangentes a esses arcos;

Superfície cônica: A superfície cônica é uma superfície que se estende para fora e para cima a partir da periferia da superfície horizontal em uma inclinação de 20:1 (horizontal:vertical) para uma distância horizontal de 4000 feet;

Superfície de aproximação: A superfície de aproximação é uma superfície centrada longitudinalmente no prolongamento da linha central da pista e se estende para fora e para cima a partir de cada extremidade de uma pista em uma inclinação designada com base no tipo de aproximação disponível ou planejada para a pista;

Superfície de transição: A superfície de transição se estende para cima e para fora dos lados das superfícies primária e de aproximação para a superfície horizontal e dos lados da superfície de aproximação além do limite externo da superfície horizontal (aproximação por instrumento de precisão) para uma distância horizontal de 5.000 feet. A inclinação da superfície de transição é de 7:1 (horizontal:vertical) (HORONJEFF et al., 2010, p. 218, tradução nossa).

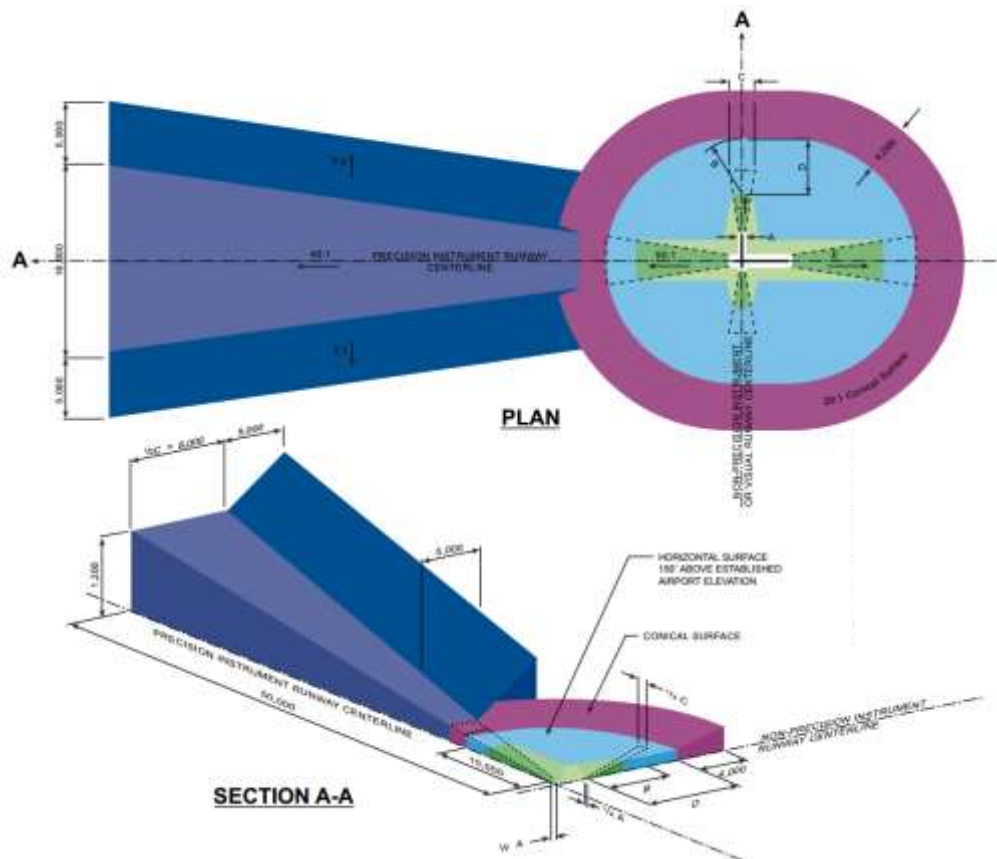


Figura 23 - Ilustração das superfícies imaginárias.

Fonte: (WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2017).

A Tabela 5 apresenta as dimensões das superfícies imaginárias de acordo com a categoria do aeroporto e o tipo de operação da pista.

Tabela 5 - Dimensões das superfícies imaginárias.

Fonte: (WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2017).

DIM.	ITEM	DIMENSIONAL STANDARDS (FEET)					
		VISUAL RUNWAY		NON-PRECISION INSTRUMENT RUNWAY			PRECISION INSTRUMENT RUNWAY
		UTILITY	LARGER THAN UTILITY	UTILITY	LARGER THAN UTILITY		
				X	Y		
A	WIDTH OF PRIMARY SURFACE AND APPROACH SURFACE WIDTH AT INNER END	250	500	500	500	1,000	1,000
B	RADIUS OF HORIZONTAL SURFACE	5,000	5,000	5,000	10,000	10,000	10,000
		VISUAL APPROACH		NON-PRECISION INSTRUMENT APPROACH			PRECISION INSTRUMENT APPROACH
		UTILITY	LARGER THAN UTILITY	UTILITY	LARGER THAN UTILITY		
					X	Y	
C	APPROACH SURFACE WIDTH AT END	1,250	1,500	2,000	3,500	4,000	16,000
D	APPROACH SURFACE LENGTH	5,000	5,000	5,000	10,000	10,000	*
E	APPROACH SLOPE	20:1	20:1	20:1	34:1	34:1	*

X – VISIBILITY MINIMUMS GRATER THAN ¾ MILE
 Y – VISIBILITY MINIMUMS AS LOW AS ¾ MILE
 * - PRECISION INSTRUMENT APPROACH SLOPE IS 50:1 FOR INNER 10.000 FEET AND 40:1 FOR NA ADDITIONAL 40.000 FEET

A Figura 24 ilustra as superfícies imaginárias do aeroporto Santos Dumont localizado no Rio de Janeiro através da ferramenta Google Earth Pro. É relevante ressaltar que as superfícies do aeroporto Santos Dumont podem diferir com as superfícies imaginárias dos aeroportos norte-americanos uma vez que os aeroportos brasileiros são projetados utilizando o RBAC n° 154 que segue as recomendações contidas no anexo 14, Aeródromos, publicado pela ICAO.

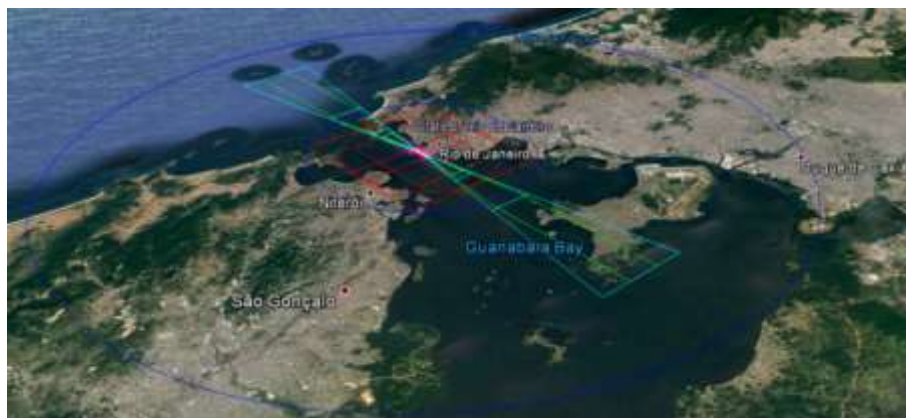


Figura 24 - Superfícies imaginárias do aeroporto Santos Dumont.

Fonte: (DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO, 2015).

3.10 Perfil Longitudinal de Pistas de Pouso e Decolagem

A FAA na circular consultiva n° 150/5300-13A, define que o gradiente longitudinal de uma determinada pista varia de acordo com a categoria da aeronave em relação ao *aircraft approach category* (AAC) no qual possui limites de declividade para aeronaves de classe A e B e limites mais restritos para aeronaves de classe C, D e E. A Figura 25 apresenta os limites de declividade para *utility airports*, enquanto que a Figura 26 ilustra os limites para *transport airports*.

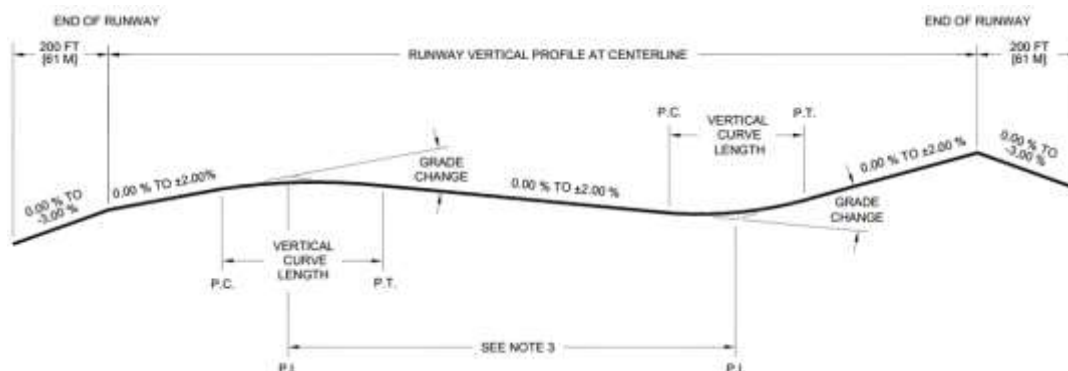


Figura 25 - Limites de declividade longitudinal de pistas para utility airports.

Fonte: (ADMINISTRAÇÃO FEDERAL DA AVIAÇÃO, AC 150/5300-13A).

Nota-se na Figura 25 que a máxima declividade ao longo do perfil longitudinal de pistas para aeronaves de categoria A e B é $\pm 2\%$. Além disso, a máxima diferença de declividade é $\pm 2\%$.

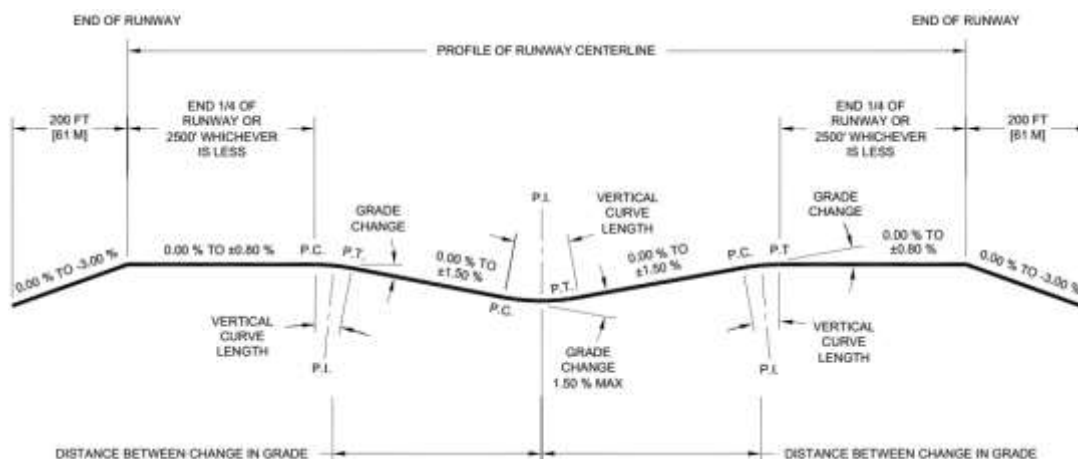


Figura 26 - Limites de declividade longitudinal de pistas para transport airports.

Fonte: (ADMINISTRAÇÃO FEDERAL DA AVIAÇÃO, AC 150/5300-13A).

Observa-se na Figura 26 que a máxima declividade ao longo do perfil longitudinal de pistas para aeronaves de categoria C, D e E é $\pm 1,5\%$, com exceção das extremidades no qual 1/4 do comprimento em ambas as extremidades da pista tem declividade máxima permitida de $\pm 0,8\%$. Além disso, a máxima diferença de gradiente é $\pm 1,5\%$.

A FAA na circular consultiva n° 150/5300-13A, determina que no caso onde a diferença de declividade é igual ou maior que 0,4% é necessário calcular a curva vertical. As curvas verticais para diferença de declividade longitudinal são parabólicas com comprimento mínimo de 1000 ft (305 m) para cada 1% de variação. Ademais, a declividade máxima permitida na área de segurança da pista está ilustrada na Figura 27.

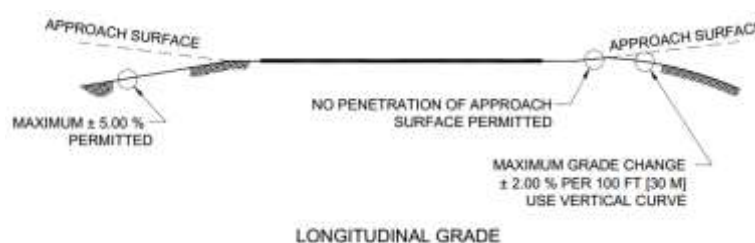


Figura 27 – Limites de declividade longitudinal da área de segurança da pista.

Fonte: (ADMINISTRAÇÃO FEDERAL DA AVIAÇÃO, AC 150/5300-13A).

3.11 Perfil Transversal de Pistas de Pouso e Decolagem

A FAA na circular consultiva n° 150/5300-13A, estabelece os limites de declividade para o perfil transversal de pistas de acordo com a categoria da aeronave em relação ao *aircraft approach category* (AAC). Os limites de declividade estão presentes na Figura 28.

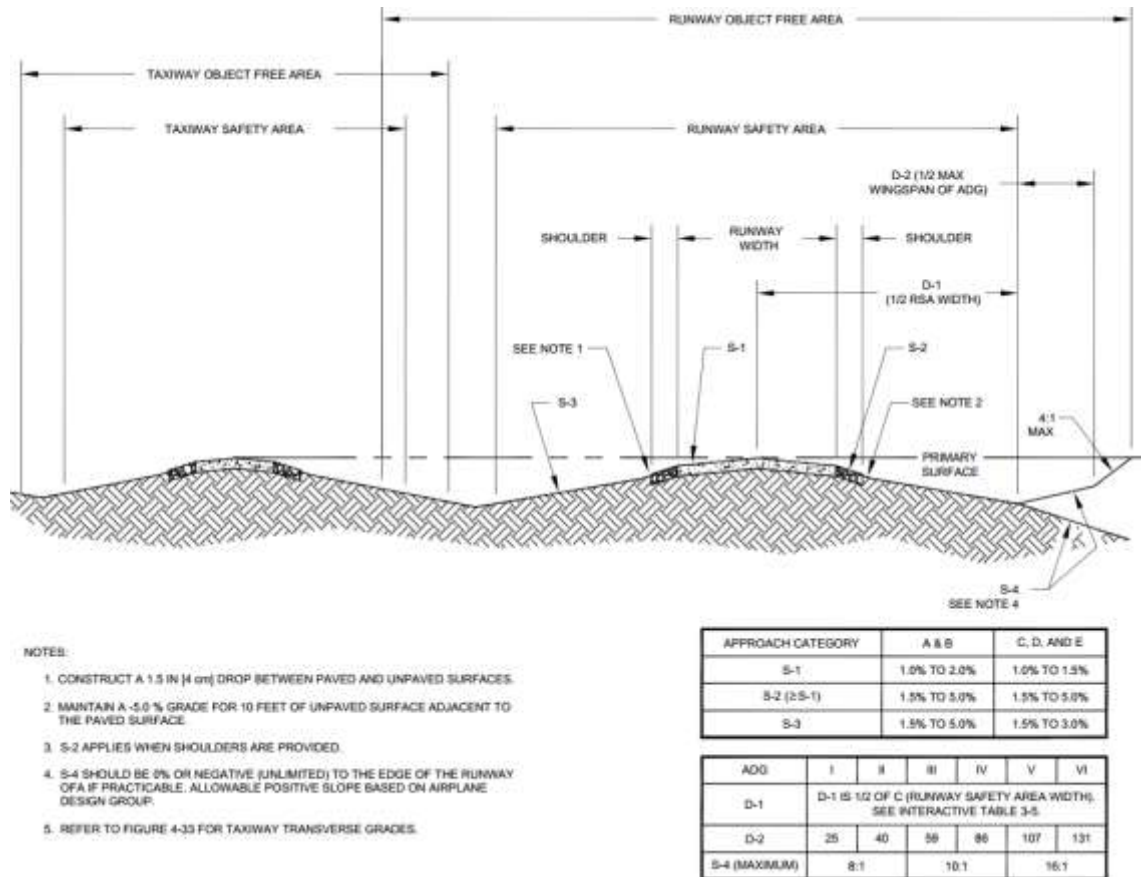


Figura 28 - Limites de declividade transversal de pistas.

Fonte: (ADMINISTRAÇÃO FEDERAL DA AVIAÇÃO, AC 150/5300-13A).

A FAA na circular consultiva nº 150/5300-13A, define os limites de declividade transversal da área de segurança da pista conforme ilustrado na Figura 29.

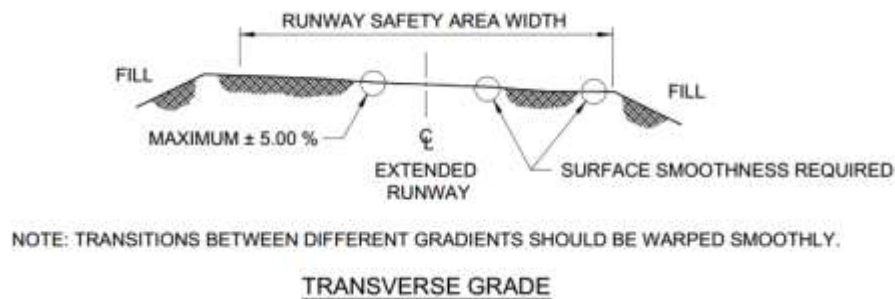


Figura 29 - Limites de declividade transversal da área de segurança da pista.

Fonte: (ADMINISTRAÇÃO FEDERAL DA AVIAÇÃO, AC 150/5300-13A).

É sempre desejável manter as declividades transversais e longitudinais com valores mínimos. Entretanto, nem sempre é possível cumprir essa recomendação por questões econômicas contanto que obedeça aos limites admissíveis (HORONJEFF et al., 2010, p. 208).

3.12 Linha de visão de pistas

3.12.1 Ao Longo da Pista

A FAA na circular consultiva n° 150/5300-13A, estabelece que dois pontos 1,5 m acima do eixo da pista devem ser mutuamente visíveis para todo o comprimento da pista de pouso e decolagem. Entretanto, caso a pista de pouso e decolagem seja dotada de uma pista de taxi paralela ao longo do seu comprimento inteiro, o perfil longitudinal pode ser dimensionado de modo que dois pontos 1,5 m acima do eixo da pista sejam mutuamente visíveis para metade do comprimento da pista de pouso e decolagem.

3.12.2 Entre Pistas Cruzadas

A FAA na circular consultiva n° 150/5300-13A, define que qualquer ponto 1,5 m acima do eixo da pista e inserido na zona de visibilidade da pista deve ser mutuamente visível com qualquer outro ponto localizado 1,5 m acima do eixo da pista cruzada e dentro da zona de visibilidade da pista. A zona de visibilidade da pista é uma área formada por linhas imaginárias que conectam os pontos de visibilidade das duas pistas cruzadas conforme ilustrado na Figura 30.

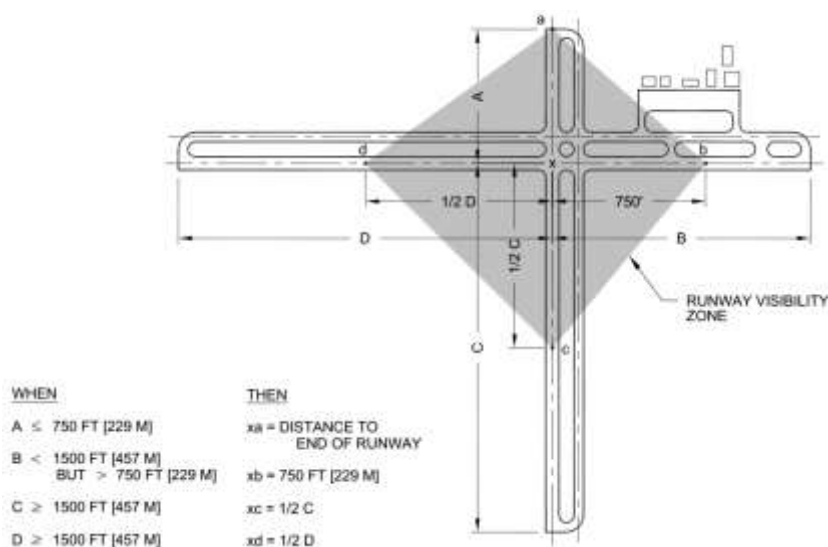


Figura 30 - Zona de visibilidade de pistas cruzadas.

Fonte: (ADMINISTRAÇÃO FEDERAL DA AVIAÇÃO, AC 150/5300-13A).

3.12.3 Método Geral para Verificar a Linha de Visão

Segundo Jones (2015, p. 26), a verificação da linha de visão entre dois pontos da pista de pouso e decolagem pode ser computada utilizando conceitos de geometria básica, mais especificamente, aplicando propriedades do triângulo retângulo.

A Figura 31 ilustra a situação na qual é verificada a linha de visão entre dois pontos – h_1 e h_2 – em relação ao ponto mais elevado com cota de 39 ft.

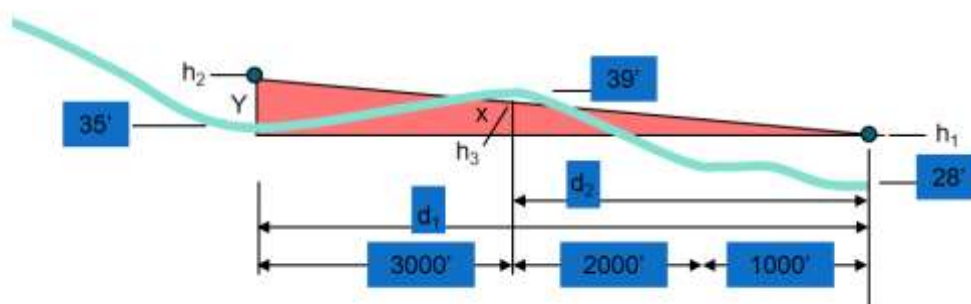


Figura 31 - Ilustração do método de verificação da linha de visão entre dois pontos da pista.

Fonte: Notas de aula de airport design (JONES, 2015).

De acordo com Jones (2015, p. 26), o método de verificação da linha de visão contém os seguintes passos:

1. Determinar a altura dos pontos externos (h_1 e h_2);
2. Calcular a base dos triângulos retângulos (d_1 e d_2);
3. Determinar o lado do triângulo retângulo de maior dimensão (Y);
4. Calcular o lado do triângulo retângulo de menor dimensão (X);
5. Calcular a cota do ponto X (h_3);
6. Comparar a elevação h_3 com a elevação do solo. Se h_3 for maior que a elevação do solo, existe linha de visão, caso contrário, existe uma obstrução.

3.13 Curvas Verticais

As curvas verticais são de suma importância no dimensionamento de estradas visto que sua função primordial é concordar rampas projetadas de modo a garantir atendimento aos critérios de segurança, boa aparência e visibilidade, além de permitir a drenagem adequada da estrada (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004, p. 102).

Segundo Banks (2002, p. 68), normalmente as curvas verticais são parabólicas centralizadas no ponto de intersecção (PI) das retas tangentes. Devido a sua característica parabólica, a curva vertical é representada pela equação do segundo grau conforme a Equação 1. A Figura 32 ilustra uma típica curva vertical simétrica.

$$y = y_0 + g_1x + \frac{rx^2}{2} \quad (1)$$

Sendo que:

- y = elevação em um ponto qualquer da curva;

- y_0 = elevação do início da curva vertical (BVC);
- g_1 = inclinação da rampa anterior ao ponto BVC;
- g_2 = inclinação da rampa posterior ao ponto EVC;
- x = distância horizontal a partir do ponto BVC até um ponto qualquer na curva;
- r = razão de mudança de rampa;
- $r = (g_2 - g_1)/L$;
- L = comprimento da curva.

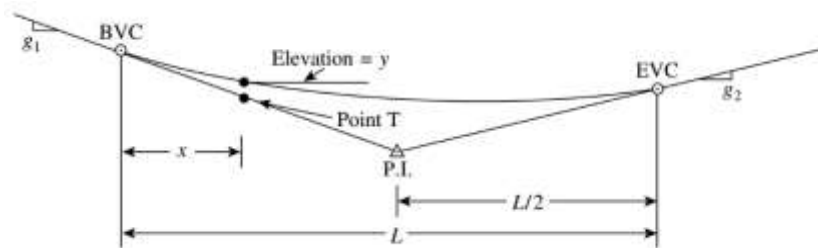


Figura 32 - Típica curva vertical simétrica.

Fonte: (BANKS, 2001)

4 METODOLOGIA UTILIZADA

4.1 Introdução

O dimensionamento da geometria da pista de pouso e decolagem do Aeroporto de Arapiraca foi executado com base nos regulamentos e circulares consultivas publicados pela Administração Federal da Aviação. A FAA é a entidade governamental dos Estados Unidos, porém influencia diversas autoridades aeronáuticas no mundo devido ao poderio do mercado americano de aviação.

De acordo com o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 154:

(c) A aprovação de uma isenção para uma não-conformidade associada às normas estabelecidas neste RBAC poderá ser concedida, na forma definida no RBAC 11, desde que sejam garantidas condições operacionais dentro de níveis de segurança equivalentes, conforme o caso.

(1) A autorização para operar um aeródromo que possui qualquer não-conformidade associada às Normas deste regulamento poderá ser concedida pela ANAC mediante a apresentação de um Estudo Aeronáutico, providenciado pelo responsável do aeródromo, de forma a analisar os riscos envolvidos com a não-conformidade e demonstrar que um nível satisfatório de segurança operacional pode ser alcançado.

(2) A ANAC poderá dispensar a elaboração do Estudo Aeronáutico mediante a apresentação, pelo responsável do aeródromo, de uma proposta formal de Acordo Operacional, apresentando procedimentos alternativos que garantam o mesmo nível de segurança estabelecido pela norma deste RBAC, avaliando o impacto decorrente na capacidade operacional do aeródromo e estabelecendo um cronograma para correção da não-conformidade.

4.2 Localização do Aeroporto

A Prefeitura Municipal de Arapiraca disponibilizou o “Relatório de Sítios para Implantação Aeroportuária em Arapiraca” que apresenta seis áreas com suas respectivas características e localização. Esse relatório foi executado seguindo as diretrizes do Manual de Implementação de Aeroportos fornecido pela Agência Nacional de Aviação Civil, bem como informações presentes no Plano Diretor do município e observações do Engenheiro Wilson Vilela.

A partir das informações inseridas no Relatório, foi possível mapear as áreas na plataforma online GEO ARAPIRACA e, posteriormente, no software *Google Earth Pro*.

4.3 Configuração da pista

Segundo Young e Wells (2011, p. 426), aeroportos dotados de pista única apresentam capacidade estimada para atender 200.000 operações anualmente que normalmente corresponde a uma demanda gerada por regiões metropolitanas com aproximadamente 350.000 habitantes.

De acordo com o Plano Aeroviário do Estado de Alagoas, o aeroporto do município de Arapiraca é classificado como regional, não existindo, assim, fluxo elevado de aeronaves em comparação com aeroportos classificados como nacional.

Diante do exposto acima, na concepção do projeto do aeroporto do município de Arapiraca optou-se pela configuração de pista única visto que essa configuração é adequada para as características e demanda do município.

4.4 Orientação das Pistas de Pouso e Decolagem

Os dados do vento – direção e velocidade – do município de Arapiraca foram obtidos no site oficial da *National Centers for Environmental Information* (NCDC), da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Por conseguinte, os dados foram transferidos do formato de tabela para formato gráfico da rosa dos ventos com a utilização do software AutoCAD 2018® para a sua confecção.

O valor estimado da declinação magnética foi determinado utilizando o modelo mais recente denominado *World Magnetic Model* (WMM) no qual “foi desenvolvido em conjunto pelo *National Geophysical Data Center* e o *British Geological Survey*” (National Oceanic and Atmospheric Administration, tradução nossa).

4.5 Parâmetros de Dimensionamento do Comprimento das Pistas

4.5.1 Aeronave Crítica de Projeto

A Agência Nacional da Aviação Civil no RBAC n° 154 define aeronave crítica como a aeronave em operação em um determinado aeródromo com características físicas e operacionais que determina os padrões de configuração e dimensionamento da infraestrutura aeroportuária.

Planejar um novo aeroporto ou melhorias em um aeroporto existente exige a seleção de uma ou mais "aeronaves de projeto". No caso de um aeroporto privado, a aeronave de projeto pode assumir a forma de uma aeronave em particular e a frequência das operações pode não ser uma consideração. Na maioria dos casos, no entanto, a aeronave de projeto para fins de projeto geométrico de aeroporto é uma

aeronave composta que representa uma coleção de aeronave classificada por três parâmetros: Aircraft Approach Category (AAC), Airplane Design Group (ADG) e Taxiway Design Group (TDG) (ADMINISTRAÇÃO FEDERAL DA AVIAÇÃO, circular consultiva nº 150/5300-13A, tradução nossa).

As aeronaves analisadas neste projeto foram selecionadas de acordo com a classificação do Aeroporto de Arapiraca. Para isto, fez-se uso do Plano Aeroviário do Estado de Alagoas (PAEAL) no qual possui as aeronaves padrões para cada tipo de aeroporto. Assim, foram selecionadas quatro aeronaves no qual passaram por diversas análises para posterior definição da aeronave crítica de projeto.

4.5.2 *Temperatura de Referência do Aeroporto*

A FAA na circular consultiva nº 150/5325-4B, estabelece que a temperatura é um parâmetro determinante para o correto dimensionamento do comprimento da pista de pouso e decolagem. Além disso, o critério de projeto é determinar a máxima temperatura média diária do mês mais quente do ano na localidade do aeroporto.

Os dados referentes à temperatura foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), entretanto, não foi possível obter dados do município de Arapiraca visto que a mesma não possui estação meteorológica. Portanto, buscaram-se dados da cidade mais próxima de Arapiraca com estação meteorológica, neste caso, Palmeira dos Índios com distância de 46 km.

4.5.3 *Peso Máximo de Aterragem e Decolagem da Aeronave Crítica de Projeto*

As características físicas das aeronaves – incluindo o peso máximo de decolagem (MTOW – *maximum certificated takeoff weight*) e o peso máximo de aterragem (MLW – *maximum certificated landing weight*) – foram obtidos nos manuais de operação de cada aeronave fornecidos pelas próprias fabricantes.

4.5.4 *Altitude de Referência e Gradiente Efetivo da Pista*

De acordo com Graves e Jones (2013, p. 1-2, tradução nossa), “a altitude de referência corresponde ao ponto mais alto da área de pouso expresso em pés acima do nível médio do mar (AMSL)”.

A partir do mapeamento das seis possíveis áreas, foi possível efetuar o traçado de cada pista de pouso e decolagem na ferramenta *Google Earth Pro* de acordo com a orientação

obtida por meio da análise da rosa dos ventos. Por conseguinte, determinou-se o perfil longitudinal de cada traçado e a altitude de referência de cada aeroporto.

4.6 Dimensionamento do Comprimento das Pistas

O dimensionamento do comprimento das pistas foi executado com base nas recomendações inseridas na circular consultiva n° 150/5325-4B publicado pela Administração Federal da Aviação.

A FAA na circular consultiva n° 150/5325-4B define o procedimento para determinar o comprimento recomendado da pista. Para isto, determina-se o comprimento necessário tanto para pousar quanto para decolar. Por conseguinte, seleciona o maior comprimento resultante para pousar e decolar e, por fim, aplica-se ajustes de comprimento caso seja pertinente. Para fins de projeto, o comprimento final recomendado da pista é o maior encontrado necessário ao pouso e decolagem.

4.6.1 Dimensionamento do Comprimento Necessário ao Pouso

As etapas do dimensionamento do comprimento necessário para pousar de acordo com a FAA são:

1. Localizar o ábaco da aeronave crítica de projeto com a configuração mais alta do flap durante o pouso, vento nulo e gradiente efetivo de pista igual a zero. Normalmente os ábacos são fornecidos pelas fabricantes das aeronaves por meio dos manuais de operação.
2. Identificar no eixo horizontal o ponto que simboliza o valor do peso máximo de aterragem da aeronave. O ábaco possui dois eixos – horizontal e vertical – no qual o horizontal corresponde ao peso máximo de aterragem enquanto que o eixo vertical representa o comprimento da pista.
3. Prosseguir verticalmente até identificar o ponto entre as curvas molhadas que representa a altitude do aeroporto. Nesse caso é utilizado interpolação. Na maioria dos ábacos, existem duas curvas – molhadas e secas – no qual deve-se sempre usar a curva molhada para operações de aterragem e para aeronaves com motor turbojato. Porém, caso seja utilizado a curva seca, é necessário ajustar o comprimento.
4. Prosseguir horizontalmente e realizar a leitura do comprimento encontrado no eixo vertical.

5. No caso de ter utilizado a curva seca no passo 3, é recomendado aumentar o comprimento da pista em 15%. Nenhum ajuste de comprimento da pista é necessário devido ao gradiente efetivo da pista no caso de aterragem para nenhum tipo de aeronave.

4.6.2 Dimensionamento do Comprimento Necessário à Decolagem

Antes de apresentar as etapas do dimensionamento do comprimento necessário à decolagem, é preciso entender o conceito de temperatura padrão.

A Organização da Aviação Civil Internacional criou o modelo atmosférico denominado Atmosfera Padrão Internacional (ISA – *International Standard Atmosphere*) no qual representa as condições médias dos parâmetros da atmosfera – temperatura, pressão, densidade – em uma região geográfica particular. Esse método foi criado por conta que essas características – pressão, temperatura, densidade – variam de um dia para o outro e de lugar para lugar. Nesse sentido, foi preciso estabelecer um padrão internacional de modo a permitir comparações de desempenho de aeronaves, bem como para auxiliar no momento de planejar e projetar aeroportos (HORONJEFF et al., 2010, p. 70).

Horonjeff et al. (2010, p. 70) no modelo de Atmosfera Padrão Internacional a temperatura no nível do mar é 59 °F ou 15 °C. Essa temperatura é denominada de temperatura padrão. Nesse modelo, os parâmetros – temperatura, pressão, densidade – decrescem linearmente com o aumento da altitude. A Tabela 6 contém uma lista parcial das temperaturas e pressões padrões em função da altitude.

Tabela 6 - Temperatura e pressão padrões.

Fonte: (HORONJEFF et al., 2010), adaptado pelo autor desta monografia.

Altitude (ft)	Temperature (°F)	Pressure (inHg)
0	59	29,92
1000	55,4	28,86
2000	51,9	27,82
3000	48,3	26,82
4000	44,7	25,84
5000	41,2	24,9
6000	37,6	23,98
7000	34	23,09
8000	30,5	22,23

As etapas do dimensionamento do comprimento necessário à decolagem de acordo com a FAA são:

1. Localizar o ábaco da aeronave crítica de projeto com condições de pista seca, gradiente efetivo de pista igual a zero e vento nulo. Além disso, deve-se selecionar o ábaco apropriado de acordo com a temperatura de referência do aeroporto.
2. Identificar no eixo horizontal o ponto que simboliza o valor do peso máximo de decolagem da aeronave.
3. Prosseguir verticalmente até identificar o ponto entre as curvas que representa a altitude do aeroporto.
4. Prosseguir horizontalmente e realizar a leitura do comprimento encontrado no eixo vertical.
5. Corrigir o comprimento da pista em relação ao gradiente efetivo da pista. Essa correção é efetuada multiplicando o gradiente efetivo da pista por 10 e adicionando o valor calculado no comprimento da pista encontrado no ábaco.

4.6.3 Comprimento Final Recomendado da Pista

A FAA na circular consultiva n° 150/5325-4B, descreve que o comprimento final recomendado da pista é o maior valor encontrado necessário ao pouso e decolagem após executada as devidas correções.

4.7 Perfil Longitudinal das Pistas

O perfil longitudinal foi dimensionado em conformidade com o perfil topográfico das pistas de forma a evitar um grandioso movimento de terra, em outras palavras, foi dimensionado de forma econômica sem desviar das recomendações das normas vigentes impostas pela Administração Federal da Aviação na circular consultiva n° 150/5300-13A.

O dimensionamento do perfil longitudinal foi efetuado a partir da obtenção da altitude de uma das cabeceiras da pista e, em seguida, aplicando as declividades pertinentes em concordância com o perfil topográfico e com o gradiente efetivo de pista.

4.8 Perfil Transversal das Pistas

O perfil transversal foi dimensionado em conformidade com o perfil topográfico de forma a evitar um grandioso movimento de terra, em outras palavras, foi dimensionado de forma econômica sem desviar das recomendações das normas vigentes impostas pela Administração Federal da Aviação na circular consultiva n° 150/5300-13A.

O dimensionamento do perfil transversal foi efetuado a partir da obtenção da altitude do eixo de ambas as cabeceiras da pista e, em seguida, aplicando as declividades pertinentes em concordância com o perfil topográfico.

4.9 FAR Parte 77: Objetos que Afetam o Espaço Aéreo Navegável

As superfícies imaginárias foram dimensionadas de acordo com os valores da Tabela 5. Por conseguinte, as superfícies foram representadas em forma de planta no software AutoCAD 2018® versão estudantil. Por fim, as superfícies foram inseridas na plataforma *Google Earth Pro*. Para isto, capturou-se imagens do *Google Earth Pro* e, em seguida, efetuou-se o georreferenciamento da imagem no AutoCAD 2018®.

4.10 Componentes da Pista e Áreas de Segurança

Os componentes da pista e as áreas de segurança foram dimensionados por meio da matriz interativa de dimensionamento fornecida pela Administração Federal da Aviação na circular consultiva n° 150/5300-13A. Para utilizá-la, é necessário ter a classificação da aeronave em relação ao *aircraft approach category* (AAC), *aircraft design group* (ADG) e *visibility minimums*.

4.11 Linha de Visão

As linhas de visão ao longo do comprimento das pistas de pouso e decolagem foram executadas considerando a existência de uma pista de táxi paralela ao longo do comprimento inteiro da pista.

5 RESULTADOS

5.1 Dimensionamento da Geometria da Pista de Pouso e Decolagem

5.1.1 Parâmetros de Dimensionamento do Comprimento das Pistas

5.1.1.1 Aeronave Crítica de Projeto

Segundo o Plano Aeroviário do Estado de Alagoas, o aeroporto do município de Arapiraca é classificado como regional e de grande porte conforme mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 - Parâmetros para as diretrizes gerais de desenvolvimento da rede estadual de aeroportos.

Fonte: Plano Aeroviário do Estado de Alagoas, adaptado pelo autor desta monografia.

Aeroporto	Classificação	Porte	Grupo de Aeronave		
			2007	2012	2022
Arapiraca	Regional	Grande	4	4	5a

Pode ser observado na Tabela 7 que aeronaves de médio porte, 5a, operariam no aeroporto de Arapiraca 15 anos após sua construção. Ademais, o Plano Aeroviário do Estado de Alagoas executou um levantamento de aeronaves classificando-as conforme a Tabela 8.

Tabela 8 - Levantamento das aeronaves de acordo com o PAEAL.

Fonte: Plano Aeroviário do Estado de Alagoas, adaptado pelo autor.

Tipo	Aeronave	Comprim. (m)	Envergadura (m)	Altura da cauda (m)	Assentos
1	EMB-720 Minuano	8,44	9,97	2,59	6
	EMB-810 Sêneca	8,72	11,85	3,02	8
	EMB-121 Xingu	12,25	14,45	4,74	5
2	CESSNA 208 Caravan	11,46	15,88	4,52	9
	KING AIR - C90	13,3	16,6	-	11
	EMB-110 Bandeirante	14,23	15,32	5,04	18
3	EMB-120 Brasília Adv.	20	19,78	6,35	30
4	ATR 42-300	22,67	24,57	7,59	48
	ATR 72	27,17	24,57	7,65	66
	FOKKER 50	25,19	29	8,32	50
5a	FOKKER 100	35,53	28,08	8,5	107
	AIRBUS 319	33,84	33,91	11,76	124
	BOEING 737-500	29,54	28,35	12,6	130
5b	BOEING 737-600	31,25	34,32	12,5	132
	BOEING 737-700	33,64	34,32	11,76	149
	AIRBUS 320-100	37,57	34,09	11,76	150
6	AIRBUS 300	54,1	44,84	16,52	266-298
	BOEING 767-200	61,4	51,92	16,9	255-270

Observa-se claramente que as aeronaves do tipo 5a inseridas na Tabela 8 correspondem à classificação III em relação ao *Aircraft Design Group* (ADG) conforme a Tabela 1. Nesse sentido, foram selecionadas quatro aeronaves com características físicas inseridas na categoria de ADG-III para o prosseguimento do dimensionamento conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Aeronaves com previsão de operar no aeroporto de Arapiraca.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Aeronave	737-700C	A320-neon	ATR-72-600	E190
Tipo	Fuselagem estreita	Fuselagem estreita	Jato regional	Fuselagem estreita
Empresa	Boeing	Airbus	ATR	Embraer
Nº Passageiros	126-149	150-180	68-72	96-114
Nacionalidade	Americana	Americana	Franco-Italiano	Brasileira

Os manuais de operação das aeronaves foram utilizados para a obtenção das características físicas. Os manuais consultados estão listados abaixo:

1. BOEING 737: Airplane Characteristics for Airport Planning;
2. AIRBUS A320: Aircraft Characteristics Airport and Maintenance Planning;
3. ATR 72-600: 600 Series the Latest Generation Turboprop;
4. EMBRAER 190: Airport Planning Manual.

O vento de través admissível é o último parâmetro que precisa ser computado e é determinado em função do *Runway Design Code* conforme a Tabela 10.

Tabela 10 - Componente de vento de través em função do Runway Design Code (RDC).

Fonte: Advisory Circular nº 150/5300-13A.

RDC	Allowable Crosswind Component
A-I and B-I	10.5 knots
A-II and B-II	13 knots
A-III, B-III, C-I through D-III D-I through D-III	16 knots
A-IV and B-IV, C-IV through C-VI, D-IV through D-VI	20 knots
E-I through E-VI	20 knots

As características físicas – envergadura, altura da calda e peso das aeronaves – estão presentes na Tabela 11.

Tabela 11 - Características físicas e de operação das aeronaves.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Aircraft	737-700C	A320-neon	ATR-72-600	E190
Approach Speed (knots)	130	136	105	124
AAC	C	C	B	C
Wingspan (ft [m])	117,5 (35,7)	117,5 (35,8)	88,9 (27,1)	94,3 (28,7)
Tail Height (ft [m])	41,3 (12,5)	39,7 (12,1)	25,1 (7,6)	34,8 (10,6)
ADG	III	III	III	III
Weight (Pounds)	154500	174165	50706	114552
Category	Large	Large	Large	Large
Allowable Crosswind (knots)	16	16	16	16

A aeronave A320-neon seria classificada como a aeronave crítica deste projeto uma vez que possui a mesma classificação que a aeronave Boeing 737-700C em relação ao AAC e ADG, porém é mais pesada. No entanto, a fabricante não disponibiliza os ábacos para o dimensionamento do comprimento necessário à decolagem correspondentes à temperatura de referência do município de Arapiraca. Nesse sentido, a aeronave Boeing 737-700C foi selecionada como aeronave crítica para esse projeto uma vez que a mesma demanda os maiores requisitos para o dimensionamento da infraestrutura aeroportuária, bem como a fabricante disponibiliza os ábacos necessários ao dimensionamento.

5.1.1.2 Localização do Aeroporto

A partir das informações inseridas no Relatório de sítios para implantação aeroportuária em Arapiraca, foi possível mapear as áreas na plataforma online GEO ARAPIRACA conforme Figura 33.

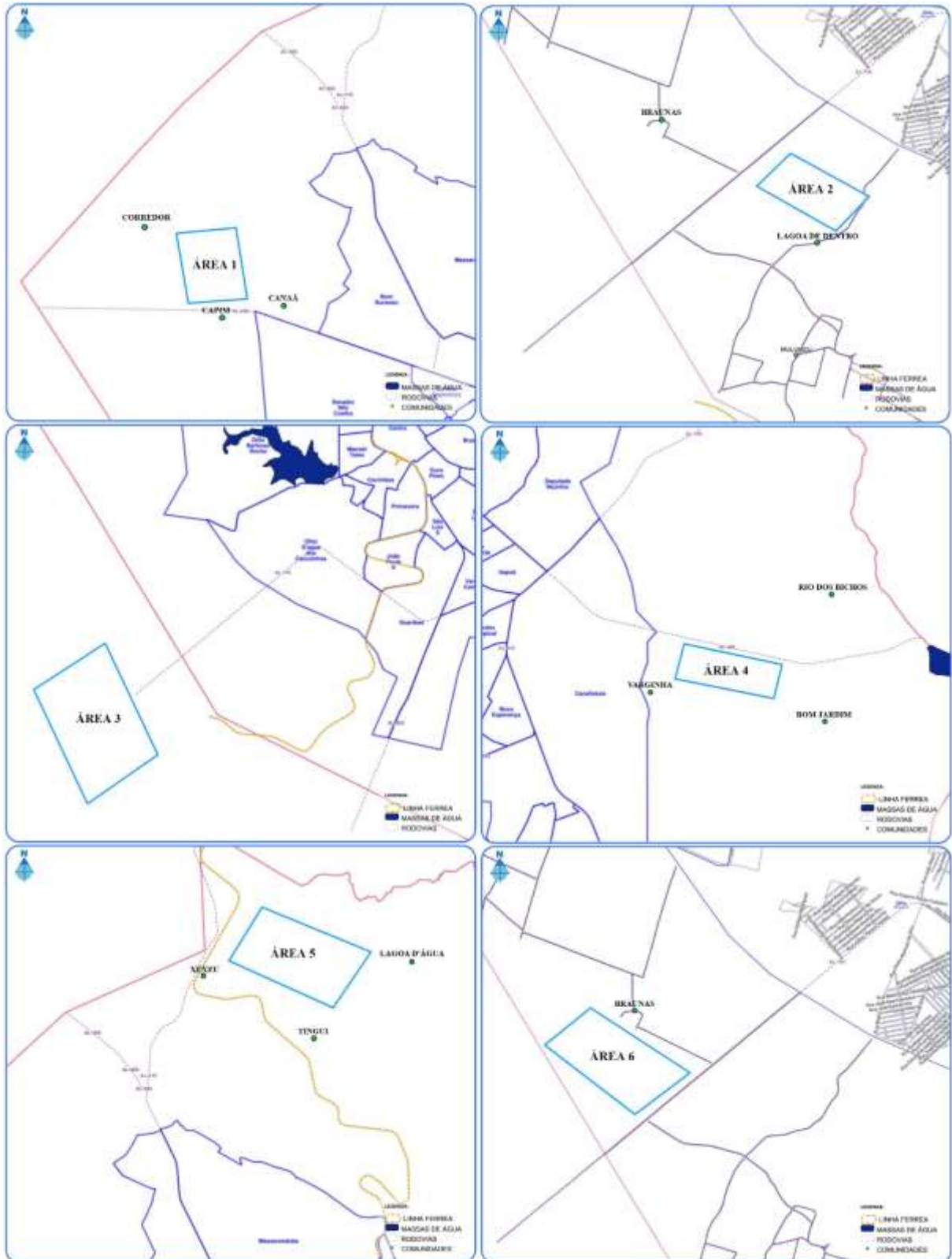


Figura 33 - Mapeamento das seis áreas na plataforma online GEO ARAPIRACA.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por conseguinte, as seis áreas foram mapeadas no software Google Earth Pro conforme apresentado na Figura 34 e Figura 35.

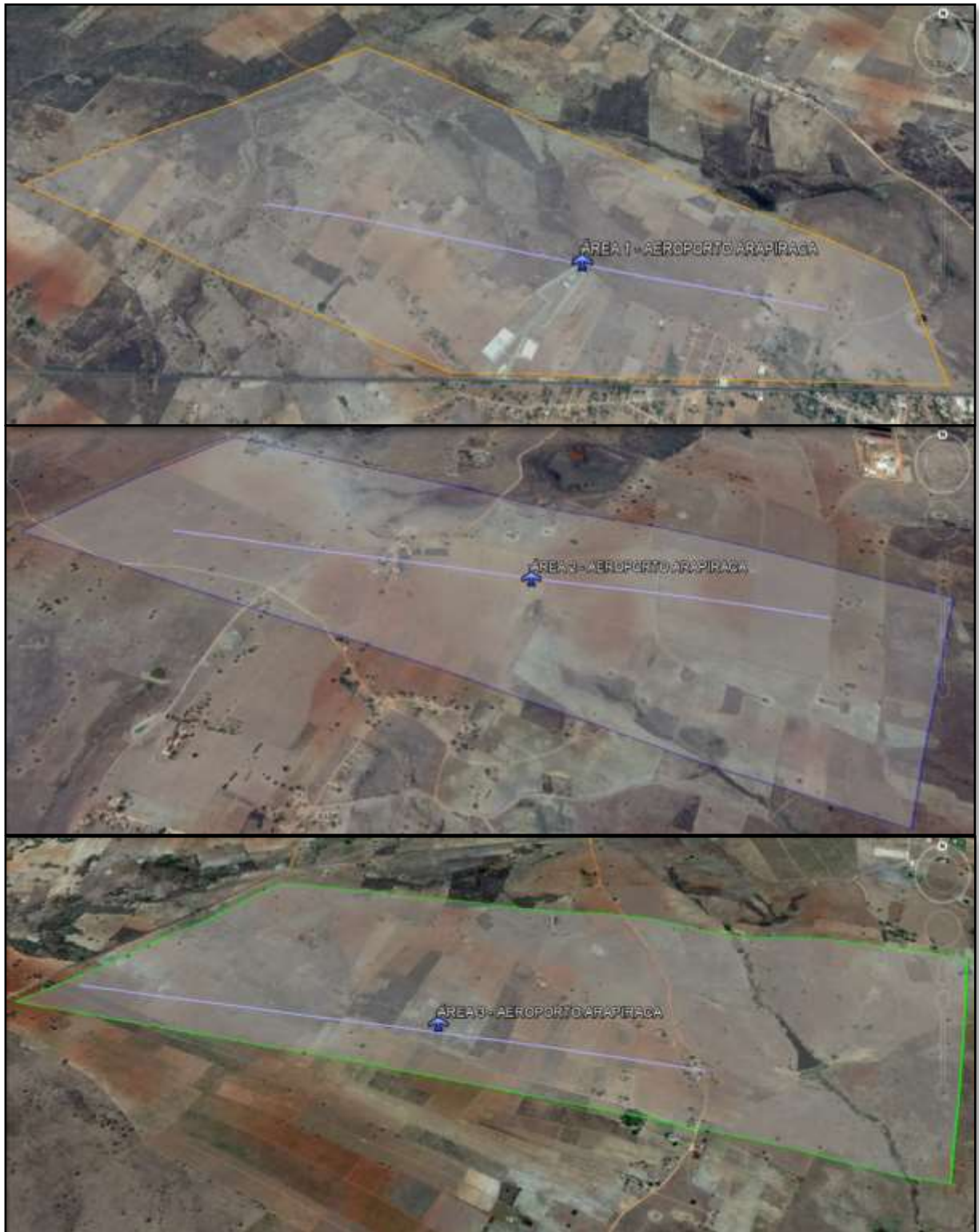


Figura 34 - Mapeamento das áreas 1 a 3 no software Google Earth Pro.

Fonte: Google Earth Pro, adaptada pelo autor.



Figura 35 - Mapeamento das áreas 4 a 6 no software Google Earth Pro.

Fonte: Google Earth Pro, adaptada pelo autor.

A Figura 36 ilustra a localização das seis áreas simultaneamente a fim de proporcionar uma melhor análise e comparação das localidades.

SW	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
WSW	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
W	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
WNW	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NW	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NNW	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CLM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.7	0.0
VAR	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ALL	21.6	25.6	11.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	3.7

Posteriormente à obtenção dos dados da Tabela 12, os valores foram transferidos para a rosa dos ventos. Neste projeto, o vento de través admissível é 16 knots conforme apresentado na Tabela 11. A rosa dos ventos e a faixa transparente foram desenhadas no software AutoCAD 2018®. A Figura 37 apresenta a rosa dos ventos com a numeração das cabeceiras após efetuada a análise.

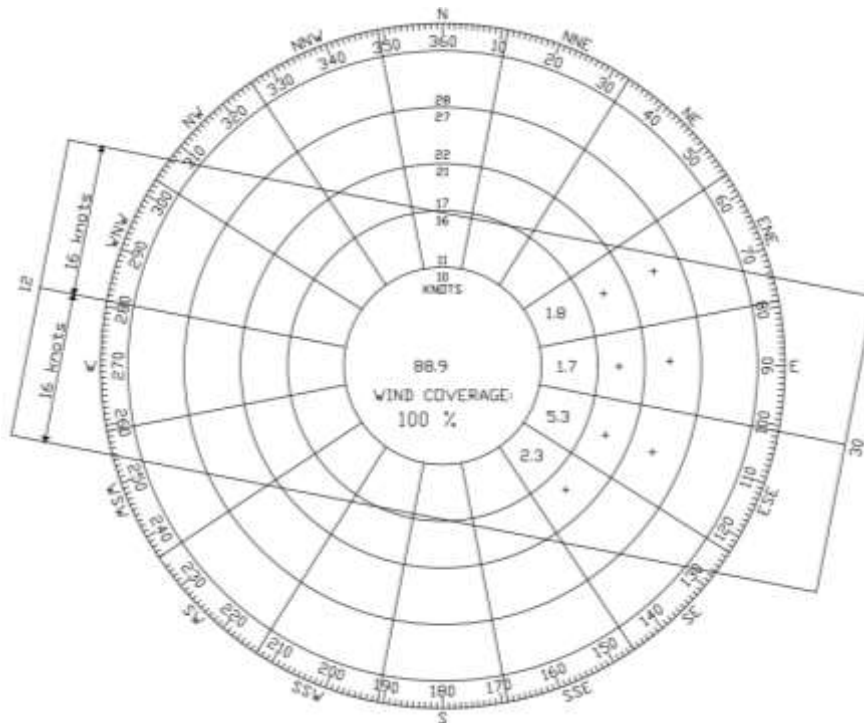


Figura 37 - Rosa dos ventos após análise.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado na Figura 37, a cobertura total do vento compreende 100% do tempo e, conseqüentemente, atende ao critério mínimo de 95%. Além disso, observa-se que a numeração das cabeceiras não corresponde ao valor encontrado na leitura da rosa dos ventos. Essa diferenciação no valor numérico ocorre devido a declinação magnética existente no local que deve ser considerada no momento da numeração da pista visto que a rosa dos ventos é baseada no norte verdadeiro.

Para a obtenção da declinação magnética do município de Arapiraca, considerou-se o Parque Ceci Cunha como localização de referência – com latitude 9° 44' 58.0" S e longitude 36° 39' 31.5" W – uma vez que o mesmo está localizado no centro do município, obtendo-se o valor de 22,72° W de declinação magnética.

Ashford, Mumayiz e Wright (2011, p. 307), o valor lido na rosa dos ventos é acrescido da declinação magnética caso seja ao oeste, senão, se a variação magnética for ao leste, é subtraído.

A pista está orientada em relação ao norte verdadeiro em 100° e 280° de acordo com a rosa dos ventos apresentado na Figura 37. A declinação magnética é 22,72° W, portanto, a orientação da pista em relação ao norte magnético é 123° e 303°. Dividindo os valores por 10 e arredondando para dezena inferior caso o número após a vírgula seja de zero a quatro e arredondando para dezena superior caso o número após a vírgula seja de cinco a nove, obtém-se a numeração final das cabeceiras da pista de pouso e decolagem que, neste caso, são respectivamente 12 e 30.

5.1.1.4 Temperatura de Referência do Aeroporto

A Tabela 13 apresenta as temperaturas a partir de dados de janeiro de 2016 até abril de 2017.

Tabela 13 - Máxima temperatura média diária do município de Palmeira dos Índios.

Fonte: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>, adaptada pelo autor desta monografia.

Estação	Data	Hora	Temperatura Máxima Média Diária (°C)
82992	31/01/2016	0	33,130
82992	29/02/2016	0	33,469
82992	31/03/2016	0	33,552
82992	30/04/2016	0	31,470
82992	31/05/2016	0	29,916
82992	30/06/2016	0	29,250
82992	31/07/2016	0	27,784
82992	31/08/2016	0	29,263
82992	30/09/2016	0	31,193
82992	31/10/2016	0	32,887
82992	30/11/2016	0	33,420
82992	31/12/2016	0	34,413
82992	31/01/2017	0	33,855
82992	28/02/2017	0	34,246
82992	31/03/2017	0	34,567
82992	30/04/2017	0	32,067

Como pode ser observado na Tabela 13, a máxima temperatura média diária ocorre no mês de março de 2017 e esse valor foi considerado para as etapas subsequentes do dimensionamento.

5.1.1.5 Altitude de Referência e Gradiente Efetivo da Pista

Os perfis longitudinais dos traçados estão representados na Figura 38.

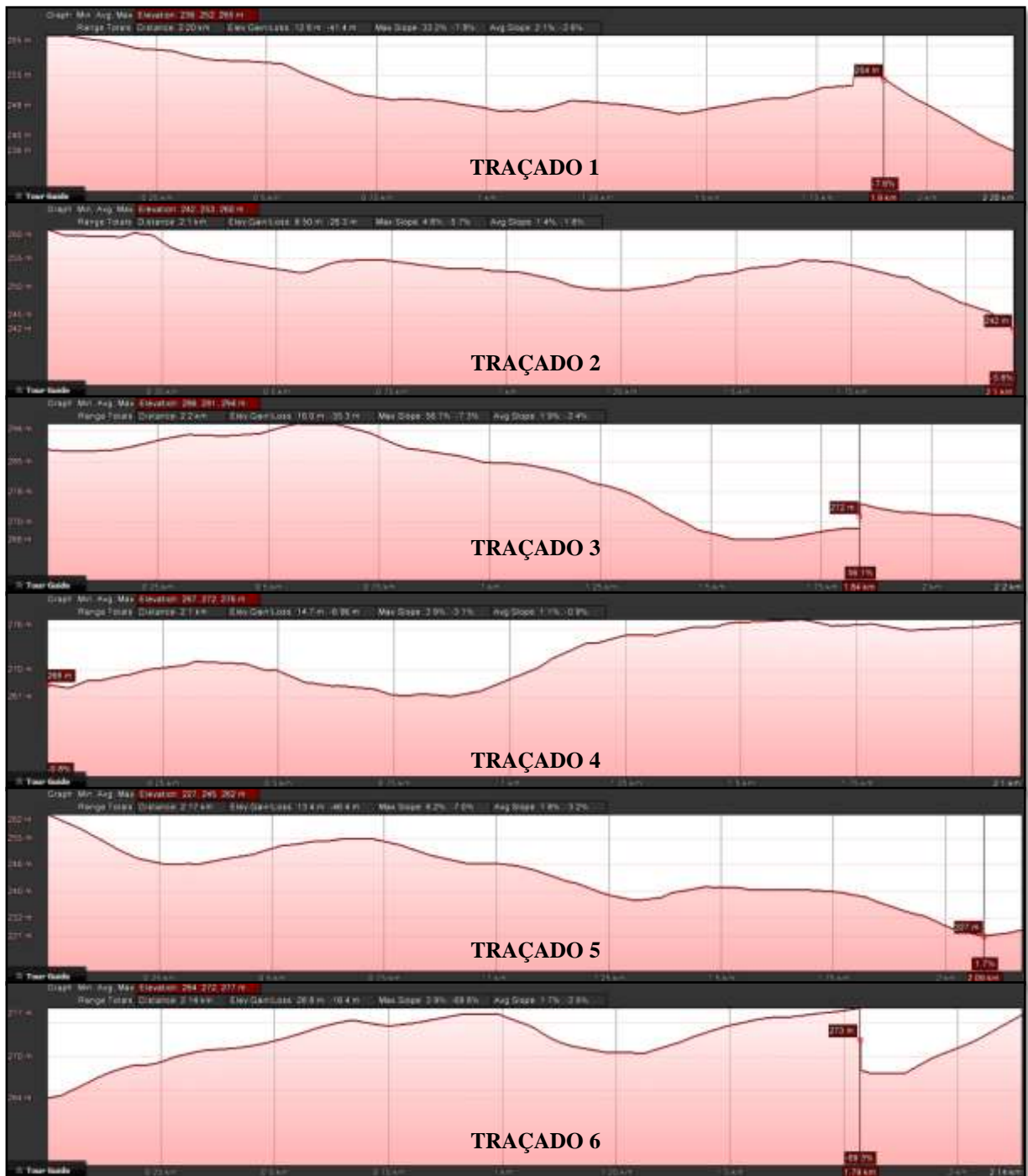


Figura 38 - Perfis longitudinais dos traçados 1 a 6.

Fonte: Google Earth Pro.

A Tabela 14 apresenta a altitude de referência de cada área de forma tabular.

Tabela 14 - Altitude de referência de cada área.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Área	Latitude	Longitude	Altitude (m)
1	9°42'30.95"S	36°43'43.62"O	265
2	9°47'32.51"S	36°40'54.84"O	260
3	9°50'9.37"S	36°45'58.21"O	294
4	9°45'40.33"S	36°36'34.81"O	276
5	9°39'16.21"S	36°40'30.85"O	262
6	9°46'53.63"S	36°42'28.05"O	277

Analisando os perfis longitudinais representados na Figura 38, foi possível obter a máxima diferença em elevação de cada traçado, assim como adotar o valor para dimensionamento conforme mostra a Tabela 15.

Tabela 15 - Máxima diferença em elevação de cada traçado.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Área	Máxima diferença em elevação (ft(m))	Adotado para dimensionamento (ft(m))
1	95,14 (29)	49 (14,91)
2	59,05 (18)	26 (7,96)
3	91,86 (28)	23 (6,9)
4	29,52 (9)	8,8 (2,68)
5	114,8 (35)	48,3 (14,7)
6	42,65 (13)	15 (4,51)

5.1.1.6 Tipo de operação da pista

Na concepção do projeto do aeroporto de Arapiraca foi considerado que o mesmo operará no período diurno e noturno e funcionará sob condições meteorológicas adversas. Assim, o tipo de operação da pista em ambas as cabeceiras é classificado tanto como regras de voo visuais quanto como regras de voo por instrumento por meio da implantação de sistema de pouso por instrumento de categoria I. De forma resumida:

- Cabeceira 12: VFR/IFR – CAT I – diurna/noturna;
- Cabeceira 30: VFR/IFR – CAT I – diurna/noturna.

5.1.2 *Dimensionamento do Comprimento da Pista de Pouso e Decolagem*

A aeronave crítica deste projeto é o BOEING 737-700C. Nesse sentido, utilizou-se o manual de operação denominado “737 Airplane Characteristics for Airport Planning” para

obter as especificações de desempenho. A Tabela 16 apresenta os pesos de aterragem e decolagem da aeronave 737-700C.

Tabela 16 - Características gerais da aeronave.

Fonte: BOEING – Airplane characteristics for airport planning, adaptado pelo autor.

CHARACTERISTICS	UNITS	MODEL 737-700C
MAX DESIGN TAXI WEIGHT	POUNDS	155,000
	KILOGRAMS	70,307
MAX DESIGN TAKEOFF WEIGHT	POUNDS	154,500
	KILOGRAMS	70,080
MAX DESIGN LANDING WEIGHT	POUNDS	129,200
	KILOGRAMS	58,604
MAX DESIGN ZERO FUEL WEIGHT	POUNDS	121,700
	KILOGRAMS	55,202
OPERATING EMPTY WEIGHT	POUNDS	83,000
	KILOGRAMS	37,648

5.1.2.1 Pista 01

Os dados do aeroporto 1 estão representados a seguir:

- Aeronave: Boeing 737-700C (CFM56-7B27 Engines)
- Temperatura de referência do aeródromo: 94,3 °F (34,6 °C)
- Altitude do aeroporto: 265m (869,4 feet)
- Peso máximo de aterragem: 129200 pounds
- Peso máximo de decolagem: 154500 pounds
- Gradiente efetivo da pista: 49 feet

O manual de operação da BOEING 737 fornece o ábaco do B737-700C para verificação do comprimento de pista necessário ao pouso para a condição de flap 30.

A aeronave em questão possui motor turbojato, conseqüentemente, será considerado a curva de pista molhada. A Figura 39 apresenta o ábaco após execução das etapas mencionadas anteriormente nesta monografia.

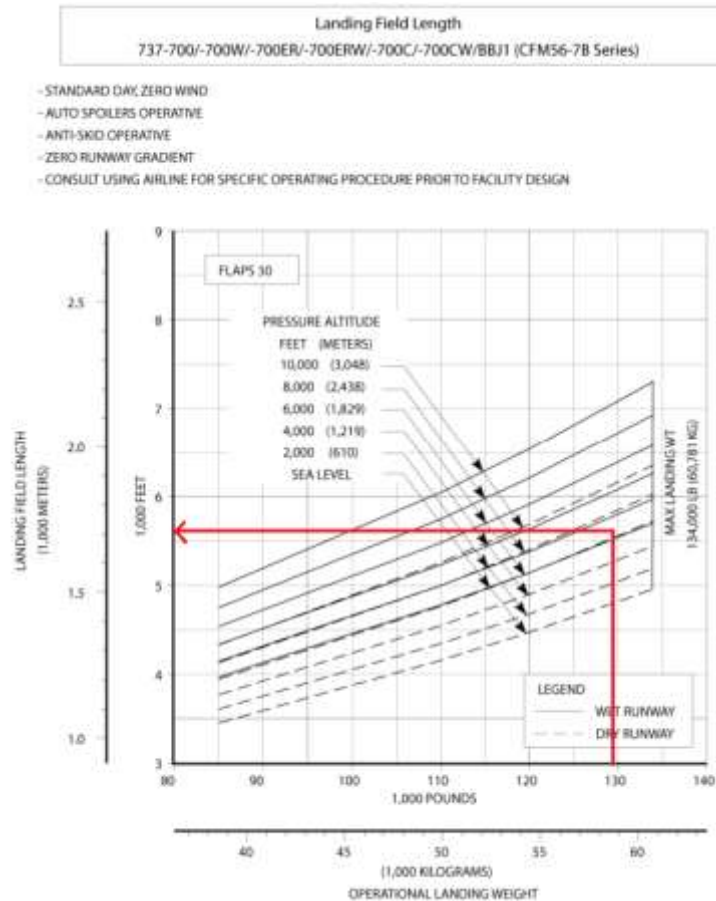


Figura 39 - Ábaco do B737-700C - comprimento de pista necessário ao pouso (condição de flap 30).

Fonte: BOEING - 737 Airplane Characteristics for Airport Planning

O comprimento obtido no ábaco é de 5630 ft. A FAA recomenda arredondar valores de 30 ft ou mais para o próximo intervalo de 100 ft. Portanto, o comprimento requerido ao pouso é de 5700 ft ou 1738 m.

A próxima etapa é estimar o comprimento da pista necessário à decolagem. O ábaco a ser utilizado apresenta temperatura de 25 °C + temperatura padrão diária do local que depende basicamente da altitude do aeroporto. A Tabela 17 apresenta a relação entre altitude e temperatura padrão diária.

Tabela 17 - Relação entre altitude e temperatura padrão diária.

Fonte: BOEING - 737 Airplane Characteristics for Airport Planning.

Altitude do aeroporto		Temperatura padrão diária	
Feet	Metros	°F	°C
0	0	59	15
2000	610	51,9	11,04
4000	1219	44,7	7,06
6000	1829	37,6	3,11
8000	2438	30,5	-0,85

A temperatura padrão diária é calculada aplicando interpolação linear conforme a seguinte expressão:

$$\text{Temperatura padrão do dia} = (A - A_0) * \left(\frac{T_1 - T_0}{A_1 - A_0} \right) + T_0 \quad (2)$$

Sendo que:

- $A_0 = 0$;
- $A_1 = 2000$ feet;
- $T_0 = 15$ °C;
- $T_1 = 11,04$ °C;
- A = Altitude de referência do Aeroporto.

Aplicando os valores na Equação 2, obtém-se que a temperatura padrão do dia para o aeroporto 1 é 13,27 °C. Nesse sentido, o ábaco selecionado é utilizável para locais com temperatura até 38,27 °C. A temperatura de referência do aeródromo é 34,6 °C, portanto, está dentro do intervalo permitido.

A Figura 40 apresenta o ábaco após execução das etapas mencionadas anteriormente nesta monografia.

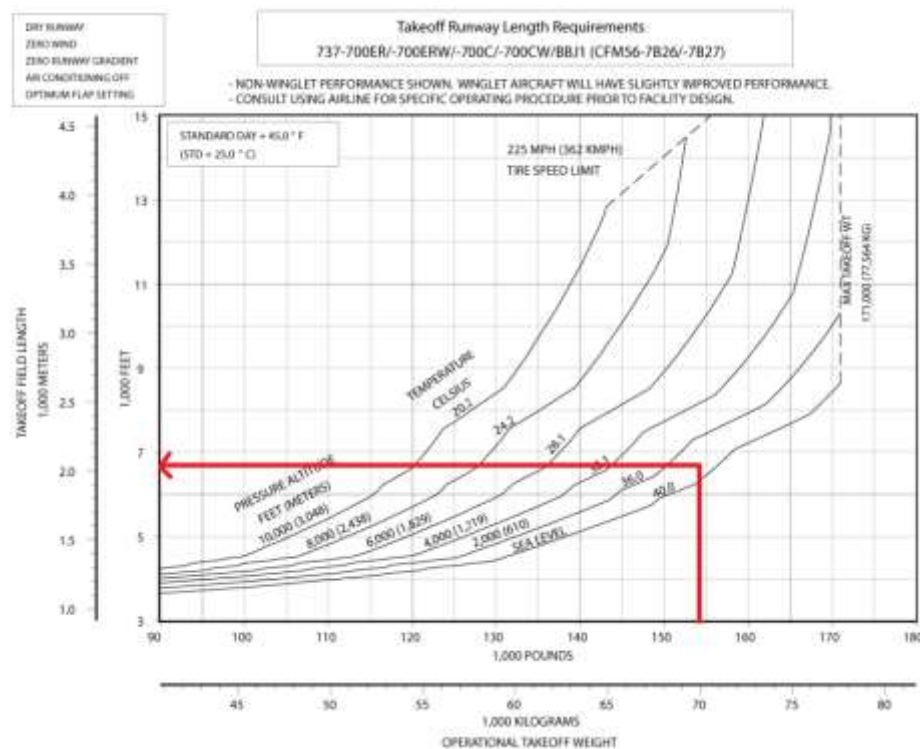


Figura 40 - Ábaco do B737-700C - comprimento de pista necessário à decolagem (temperatura ISA + 25 °C).

Fonte: BOEING - 737 Airplane Characteristics for Airport Planning.

O comprimento obtido no ábaco é de 6700 ft. A correção relativa ao gradiente efetivo da pista é 490 ft, totalizando um comprimento total de pista necessário à decolagem de 7190

ft. Arredondando para o próximo intervalo de 100 ft, o comprimento requerido à decolagem é 7200 ft ou 2194 m.

Para fins de projeto, o comprimento final da pista é o maior valor encontrado necessário ao pouso e decolagem, nesse caso, 7200 ft.

5.1.2.2 Demais Pistas

As únicas variáveis para o dimensionamento do comprimento das demais pistas são a altitude do aeroporto e o gradiente efetivo da pista. Desse modo, a Tabela 18 apresenta as altitudes e gradientes efetivos das seis pistas.

Tabela 18 - Altitudes e gradientes efetivos das seis pistas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pista	01	02	03	04	05	06
Altitude do aeroporto (m [ft])	265 (869,4)	260 (853)	294 (965)	276 (905,5)	262 (859,6)	277 (908,8)
Gradiente efetivo da pista (ft)	49	26	23	8,8	48,3	15

A Tabela 19 apresenta os valores dos comprimentos necessários ao pouso, decolagem e final, após efetuada as etapas necessárias analogamente à pista 01.

Tabela 19 - Comprimento final das seis pistas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pista	01	02	03	04	05	06
Pouso (feet)	5700	5600	5700	5700	5610	5700
Decolagem (feet)	7200	6900	7200	6900	7120	7000
Comprimento final (feet)	7200	6900	7200	6900	7120	7000

5.1.3 Distâncias Declaradas

Nesse projeto, as dimensões da área de segurança da pista (RSA – *runway safety area*), área livre de objetos da pista (ROFA – *runway object free area*) e da zona de proteção da pista (RPZ – *runway protection zone*) atendem aos critérios mínimos estabelecidos pela Administração Federal da Aviação na circular consultiva n° 150/5300-13A. Portanto, as quatro distâncias declaradas possuirão comprimentos iguais ao comprimento total da pista conforme ilustrado na Figura 41.

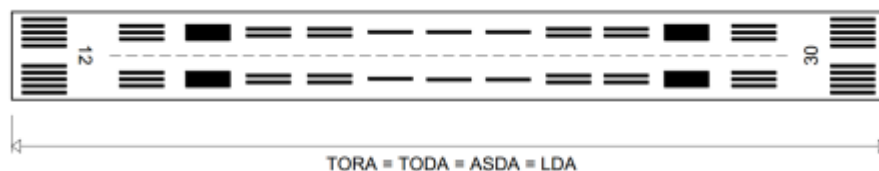


Figura 41 - Distâncias declaradas das pistas em dimensionamento.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.4 Dimensionamento do Sistema da Pista e das Áreas de Segurança

Nesse projeto, a aeronave crítica é classificada como AAC-C, ADG-III e *visibility minimums* menor que 3/4 milhas. A Tabela 20 apresenta as dimensões dos parâmetros da pista enquanto que a Tabela 21 apresenta as dimensões das áreas de proteção da pista.

Tabela 20 - Dimensões do sistema da pista.

Fonte: Federal Aviation Administration, AC 150/5300-13A.

Largura da pista	150 ft (45,7 m)
Largura do acostamento	25 ft (7,6 m)
Largura do blast pad	200 ft (60,9 m)
Comprimento do blast pad	200 ft (60,9 m)

Tabela 21 - Dimensões das áreas de proteção da pista.

Fonte: Federal Aviation Administration, AC 150/5300-13A.

Runway Safety Area (RSA)		Runway Object Free Area (ROFA)	
Comprimento após o fim da pista	1000 ft (304,8 m)	Comprimento após o fim da pista	1000 ft (304,8 m)
Comprimento antes da cabeceira	600 ft (182,8 m)	Comprimento antes da cabeceira	600 ft (182,8 m)
Largura	500 ft (152,4 m)	Largura	800 ft (243,8 m)
Runway Obstacle Free Zone (ROFZ)		Precision Obstacle Free Zone (POFZ)	
Comprimento	estende 200 ft após cada fim da pista	Comprimento	200 ft (60,9 m)
Largura	400 ft (121,9 m)	Largura	800 ft (243,8 m)
Approach Runway Protection Zone (ARPZ)		Departure Runway Protection Zone (DRPZ)	
Comprimento	2500 ft (762 m)	Comprimento	1700 ft (518,2 m)
Menor largura	1000 ft ((304,8 m)	Menor largura	500 ft (152,4 m)
Maior largura	1750 ft (533,4 m)	Maior largura	1010 ft (307,8 m)
Acres ²	78,914	Acres	29,465

O tipo de operação da pista é classificado como IFR-precisão por meio da utilização do sistema de pouso por instrumento. Conseqüentemente, a *inner transitional obstacle free zone* é aplicável nessa situação de forma que é preciso calcular a altura H conforme ilustrado na Figura 20.

A FAA na circular consultiva n° 150/5300-13A, define a equação que determina a altura H no qual varia de acordo com o tipo de categoria do sistema de pouso por instrumento. Para o caso em questão, categoria I, a altura H é calculada pela seguinte equação:

² 1 acre = 0,4 hectares.

$$H = 61 - 0,094 * (S) - 0,003 * (E) \quad (3)$$

Sendo que:

- S = envergadura da aeronave crítica de projeto em feet;
- E = altitude da cabeceira em feet;

As seis áreas possuem a mesma aeronave crítica, portanto, a única variável é a altitude visto que cada área possui relevo diferenciado. A Tabela 22 apresenta os valores de H para as seis áreas.

Tabela 22 - Valor de H da inner transitional.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pista 1		Pista 2		Pista 3	
S	117,5 ft	S	117,5 ft	S	117,5 ft
E ₁	820,5 ft	E ₂	853 ft	E ₃	910 ft
H ₁	47,49 ft	H ₂	47,396 ft	H ₃	47,23 ft
Pista 4		Pista 5		Pista 6	
S	117,5 ft	S	117,5 ft	S	117,5 ft
E ₄	900,2 ft	E ₅	859,6 ft	E ₆	902,23 ft
H ₄	47,2544 ft	H ₅	47,3762 ft	H ₆	47,25 ft

5.1.5 Perfil Longitudinal da Pista de Pouso e Decolagem

A Figura 42 ilustra os pontos relativos à seção longitudinal da área de segurança que serão levados em consideração no dimensionamento do perfil longitudinal da área de segurança para as seis áreas.



Figura 42 - Planta da pista e área de segurança em relação ao perfil longitudinal.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.5.1 Pista 01

A Figura 43 apresenta o perfil longitudinal da pista 01 com sentido de dimensionamento da direita para esquerda, ou seja, a partir da cabeceira 30. Os gradientes

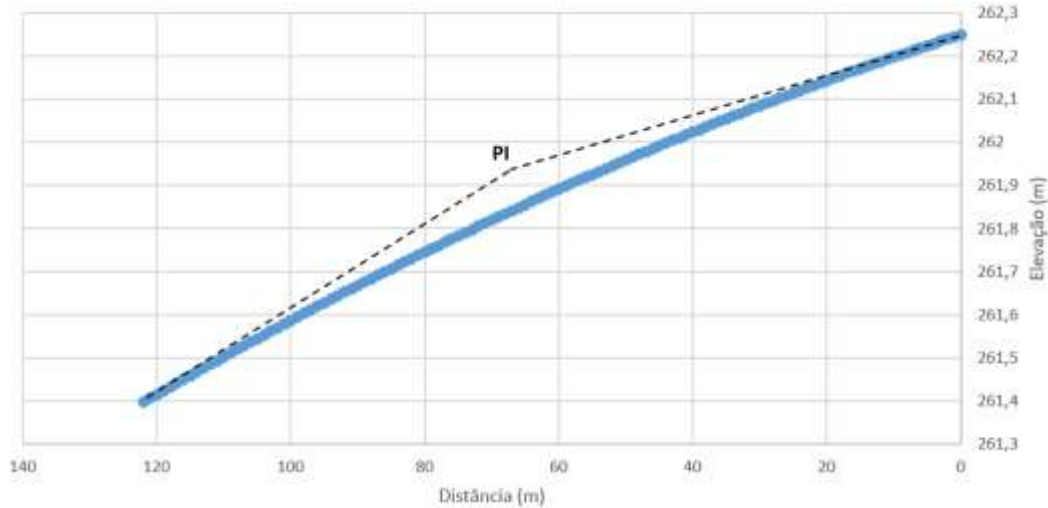


Figura 44 - Curva vertical A da pista 01.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A altitude do PT_1 é igual a 261,4 m obtida na Figura 44. Por conseguinte, calcula-se a altitude do PC_2 por meio da seguinte equação:

$$PC_2 = Altitude_{PA} - \frac{D}{100} dH \quad (5)$$

Sendo que:

- $Altitude_{PA}$ = altitude do ponto antecedente;
- D = declividade da rampa em porcentagem;
- dH = distância horizontal entre os dois pontos.

Assim:

$$PC_2 = 261,4 - \frac{0,9}{100} 856 = 253,69 \text{ m}$$

Com a altitude do ponto PC_2 , é possível calcular a curva vertical B. Os dados de entrada são $G_1 = - 0,9\%$, $G_2 = - 0,5\%$, $PC_2 = 253,69 \text{ m}$ e L = comprimento da curva. O comprimento da curva é encontrado multiplicando 305 m pela diferença de gradiente, nesse caso, 0,4%. Portanto, o comprimento da curva é 122 m. A partir disso, os valores foram aplicados na Equação 1 obtendo-se, assim, a curva vertical B conforme ilustrado na Figura 45.

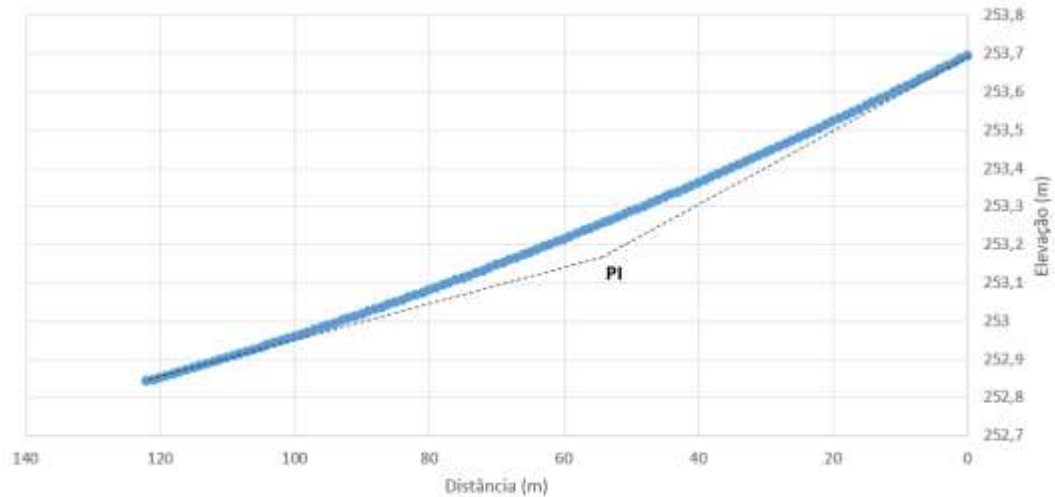


Figura 45 - Curva vertical B da pista 01.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A altitude do PT₂ é igual a 252,84 m obtida na Figura 45. Por conseguinte, a altitude da cabeceira 12 é computada pela seguinte expressão:

$$Altitude_{C_{12}} = Altitude_{PA} - \frac{D}{100} dH \quad (6)$$

Sendo que:

- Altitude_{PA} = altitude do ponto antecedente;
- D = declividade da rampa em porcentagem;
- dH = distância horizontal entre os dois pontos.

Assim:

$$Altitude_{C_{12}} = 252,84 - \frac{0,5}{100} 550 = 250,09 \text{ m}$$

O gradiente efetivo da pista é calculado subtraindo as altitudes da cabeceira 30 e cabeceira 12, nesse caso, o valor é 14,91 m ou 49 feet sendo igual ao valor determinado previamente nesta monografia. Além disso, a mínima distância permitida entre pontos de intersecção é igual a 305 m multiplicado pelo somatório da diferença dos gradientes correspondentes as duas curvas verticais, nesse caso, 0,8%. Portanto, a mínima distância é 244 m, desta forma, a distância entre os pontos de intersecção no perfil longitudinal da pista 01 (Figura 43) está de acordo com a norma.

Após a obtenção das altitudes de ambas as cabeceiras da pista, foi possível definir as declividades e altitudes dos pontos do eixo da área de segurança da pista conforme apresentado na Tabela 23.

Tabela 23 - Declividades e altitudes dos pontos do eixo da área de segurança da pista 1.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Declividades		Altitudes	
i1	0 %	W	265 m
i2	0 %	X	265 m
i3	0 %	K	250,09 m
i4	0 %	Z	250,09 m

5.1.5.2 Demais Pistas

As figuras Figura 46 a Figura 50 apresentam os perfis longitudinais das pistas 02 a pista 06.

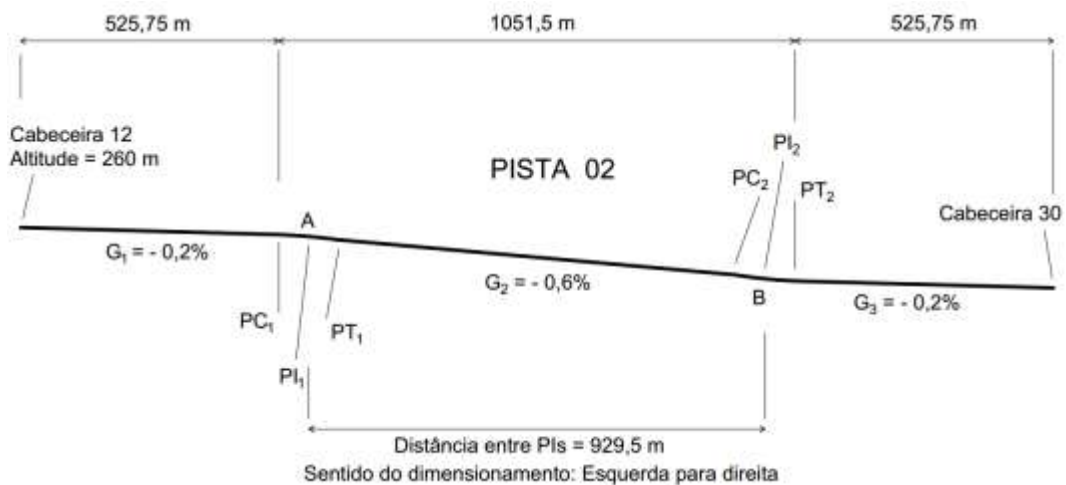


Figura 46 - Perfil longitudinal da pista 02.

Fonte: Elaborado pelo autor.

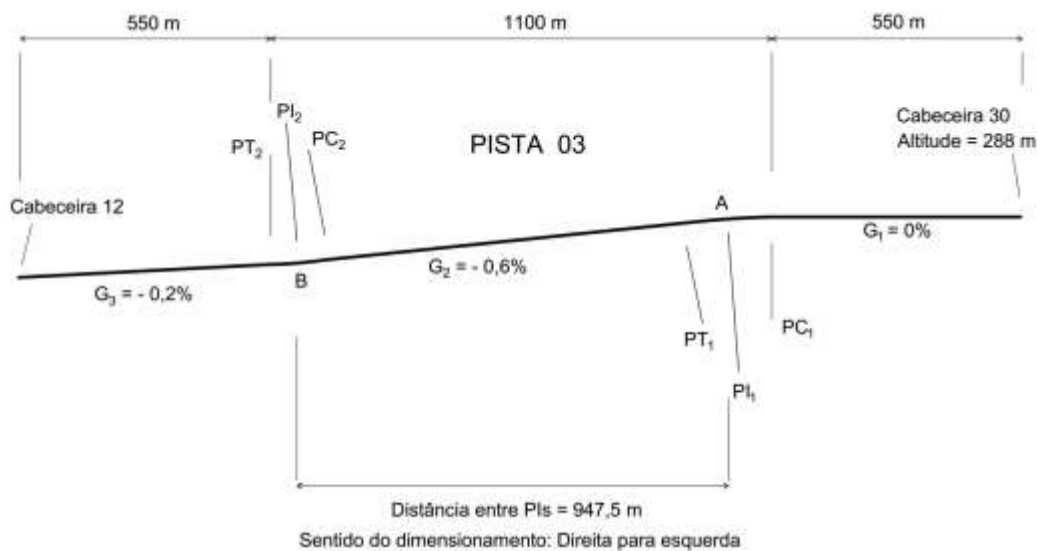


Figura 47 - Perfil longitudinal da pista 03.

Fonte: Elaborado pelo autor.

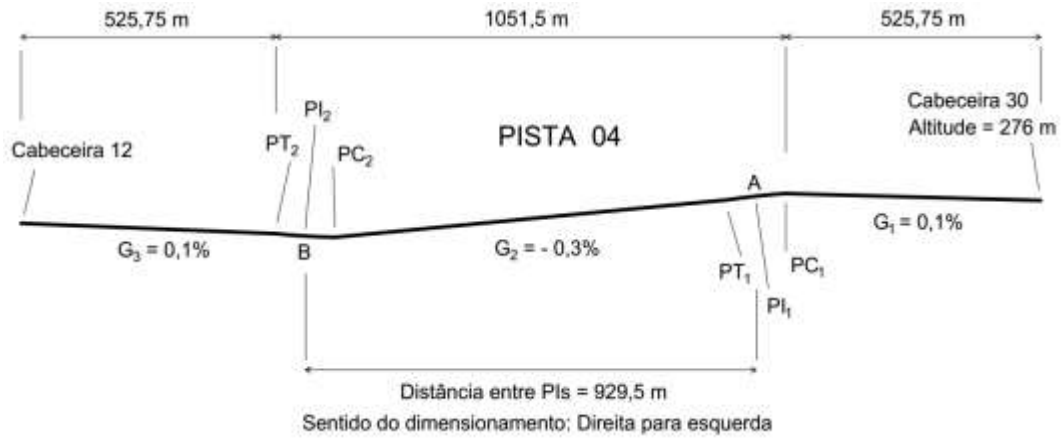


Figura 48 - Perfil longitudinal da pista 04.

Fonte: Elaborado pelo autor.

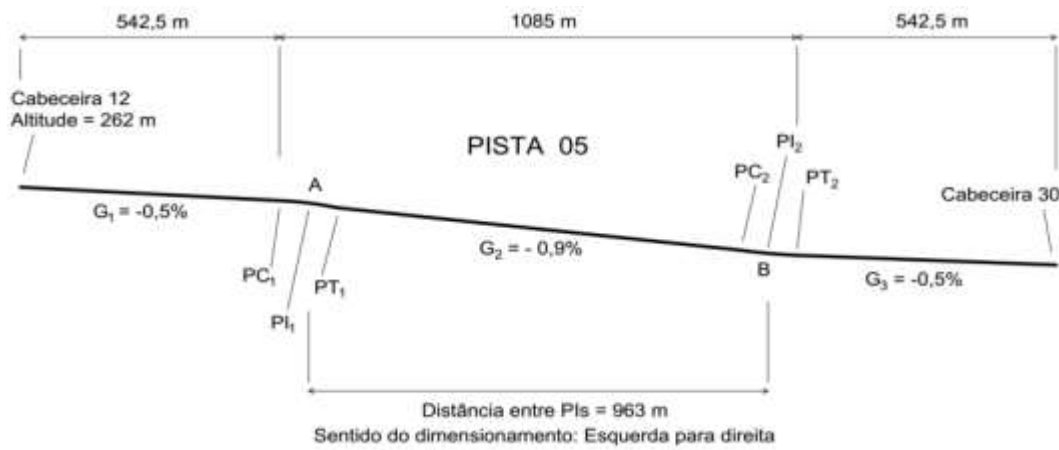


Figura 49 - Perfil longitudinal da pista 05.

Fonte: Elaborado pelo autor.

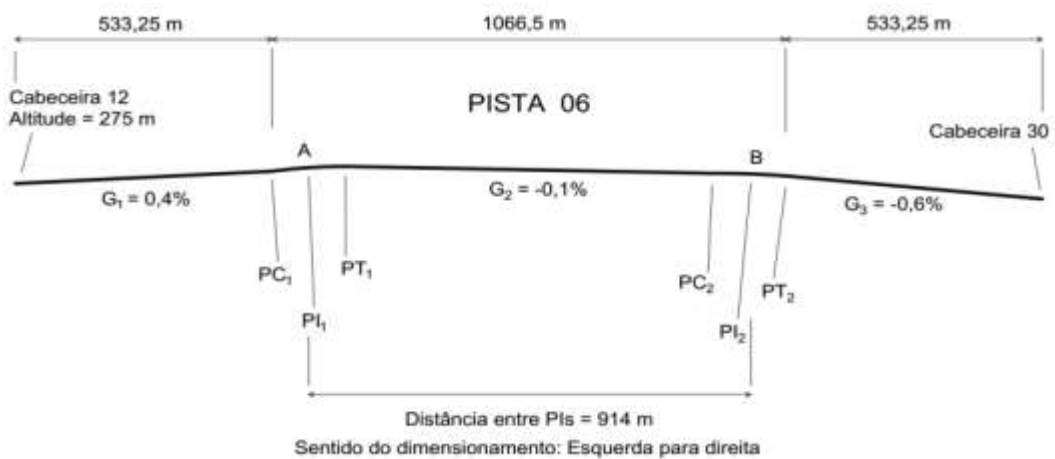


Figura 50 - Perfil longitudinal da pista 06.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 24 ilustra os valores das elevações das cabeceiras das seis pistas após efetuada as etapas necessárias analogamente ao dimensionamento da pista 01.

Tabela 24 - Elevações das cabeceiras das seis pistas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pista	01	02	03	04	05	06
Elevação cabeceira 12 (m)	250,09	260	281,093	274,38	262	275
Elevação cabeceira 30 (m)	265	252,07	288	276	247,28	272,85

A Tabela 25 apresenta as declividades e altitudes dos pontos do eixo da área de segurança das seis pistas.

Tabela 25 - Declividades e altitudes dos pontos do eixo da área de segurança referentes as seis pistas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

PISTA 01				PISTA 02			
Declividades		Altitudes		Declividades		Altitudes	
i1	0%	W	265 m	i1	-3%	W	250,24 m
i2	0%	X	265 m	i2	-3%	X	242,92 m
i3	0%	K	250,09 m	i3	0%	K	260 m
i4	0%	Z	250,09 m	i4	0%	Z	260 m
PISTA 03				PISTA 04			
Declividades		Altitudes		Declividades		Altitudes	
i1	0%	W	288 m	i1	0%	W	276 m
i2	0%	X	288 m	i2	0%	X	276 m
i3	-3%	K	279,26 m	i3	0%	K	274,38 m
i4	-2%	Z	274,38 m	i4	0%	Z	274,38 m
PISTA 05				PISTA 06			
Declividades		Altitudes		Declividades		Altitudes	
i1	0%	W	247,28 m	i1	-1%	W	272,24 m
i2	0%	X	247,28 m	i2	-3%	X	264,92 m
i3	0%	K	262 m	i3	0%	K	275 m
i4	0%	Z	262 m	i4	0%	Z	275 m

5.1.6 Perfil Transversal da Pista de Pouso e Decolagem

A Figura 51 ilustra os pontos relativos à seção transversal da pista e área de segurança que serão levados em consideração no dimensionamento do perfil transversal para as seis áreas.



Figura 51 - Planta da pista e área de segurança em relação ao perfil transversal.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.6.1 Perfis Transversais das Seis Pistas

A Tabela 26 apresenta as declividades aplicadas no dimensionamento dos perfis transversais das seis pistas e das áreas de segurança. As declividades são iguais para ambos os lados, conseqüentemente, as altitudes dos pontos B4, B5 e B6 são iguais aos dos pontos B1, B2, B3. O mesmo acontece para os pontos referentes à cabeceira 30, ponto A.

Tabela 26 - Declividades e altitudes dos pontos da seção transversal das seis pistas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

PISTA 01						PISTA 02					
Declividades		Ponto A		Ponto B		Declividades		Ponto A		Ponto B	
S-1	1,00%	A1	264,77 m	B1	249,86 m	S-1	1,00%	A1	251,84 m	B1	259,77 m
S-2	3,00%	A2	264,54 m	B2	249,63 m	S-2	3,00%	A2	251,61 m	B2	259,54 m
S-3	3,00%	A3	263,06 m	B3	248,16 m	S-3	3,00%	A3	250,14 m	B3	258,07 m
PISTA 03						PISTA 04					
Declividades		Ponto A		Ponto B		Declividades		Ponto A		Ponto B	
S-1	1,00%	A1	287,77 m	B1	280,86 m	S-1	1,00%	A1	275,77 m	B1	274,15 m
S-2	3,00%	A2	287,54 m	B2	280,63 m	S-2	3,00%	A2	275,54 m	B2	273,92 m
S-3	3,00%	A3	286,17 m	B3	279,26 m	S-3	3,00%	A3	274,07 m	B3	272,45 m
PISTA 05						PISTA 06					
Declividades		Ponto A		Ponto B		Declividades		Ponto A		Ponto B	
S-1	1,00%	A1	247,05 m	B1	261,77 m	S-1	1,00%	A1	272,62 m	B1	274,77 m
S-2	3,00%	A2	246,82 m	B2	261,54 m	S-2	3,00%	A2	272,39 m	B2	274,54 m
S-3	3,00%	A3	245,35 m	B3	260,07 m	S-3	3,00%	A3	270,92 m	B3	273,07 m

5.1.7 Verificação das Linhas de Visão

5.1.7.1 Pista 01

A Figura 52 ilustra a figura geométrica de análise da pista 01.

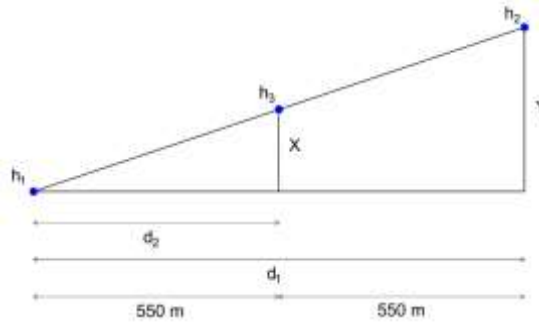


Figura 52 - Figura geométrica de análise da pista 01.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nessa análise, o ponto h_2 corresponde à cabeceira 30, o ponto h_1 está situado no ponto central da pista e o h_3 corresponde ao ponto PC_1 .

A elevação do ponto central e do PC_1 são respectivamente 257,548 m e 262,25m. A cabeceira 30 tem elevação de 265m. O cálculo da linha de visão é determinado pelos seguintes passos:

1. Altura dos pontos h_1 e h_2 :

$$h_1 = 257,548 + 1,5 = 259,05 \text{ m}$$

$$h_2 = 265 + 1,5 = 266,5 \text{ m}$$

2. Comprimento das bases dos triângulos d_2 e d_1 :

$$d_1 = 550 + 550 = 1100 \text{ m}$$

$$d_2 = 550 \text{ m}$$

3. Lado do triângulo retângulo de maior dimensão Y:

$$Y = h_2 - h_1 = 7,45 \text{ m}$$

4. Lado do triângulo retângulo de menor dimensão X:

$$\frac{X}{Y} = \frac{d_2}{d_1}$$

$$X = 3,725 \text{ m}$$

5. Elevação do ponto h_3 :

$$h_3 = h_1 + X = 262,7 \text{ m}$$

Como pode ser observado, a elevação do ponto h_3 é maior do que a elevação do ponto PC_1 , portanto, existe linha de visão entre os dois pontos analisados e o dimensionamento longitudinal da pista está adequado e conforme as recomendações da circular consultiva n° 150/5300-13A publicada pela Administração Federal da Aviação.

5.1.7.2 Demais Pistas

As figuras Figura 53, Figura 54 e Figura 55 ilustram as figuras geométricas de análise das pistas 02 a 06.

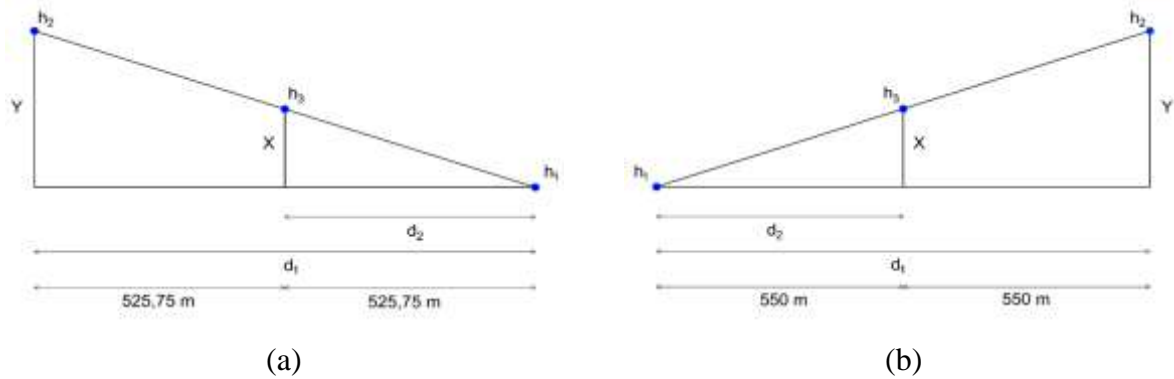


Figura 53 - Figuras geométricas de análise: (a) pista 02; (b) pista 03.

Fonte: Elaborado pelo autor.

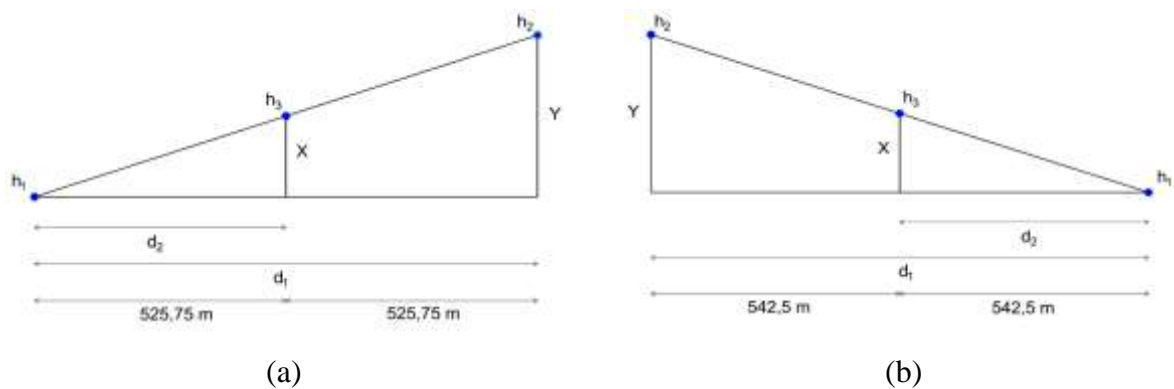


Figura 54 - Figuras geométricas de análise: (a) pista 04; (b) pista 05.

Fonte: Elaborado pelo autor.

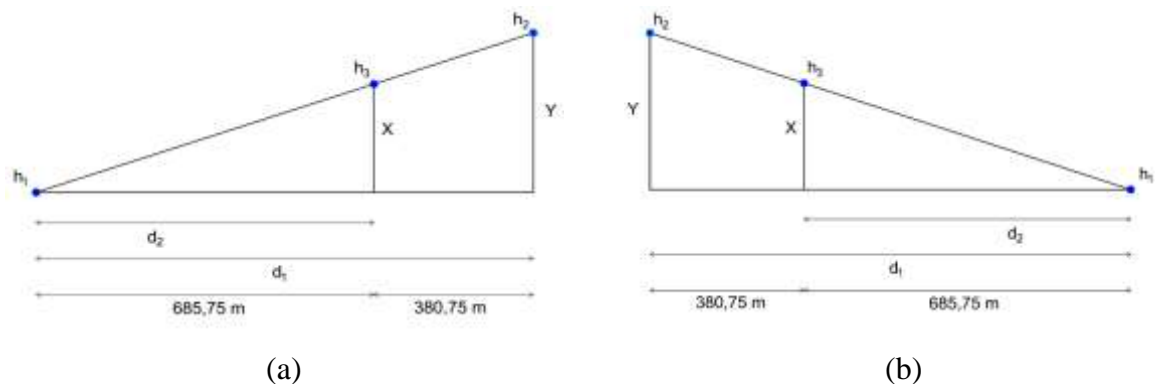


Figura 55 - Figuras geométricas de análise: (a) pista 06 - 1; (b) pista 06 - 2.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme apresentado na Tabela 27, a elevação do ponto h_3 é maior do que a elevação do eixo da pista para as seis pistas analisadas, conseqüentemente, existe linha de visão e o

dimensionamento longitudinal das seis pistas estão adequados e conforme as recomendações da circular consultiva n° 150/5300-13A publicada pela Administração Federal da Aviação.

Tabela 27 - Verificação da linha de visão das pistas 02 a 06.

Fonte: Elaborado pelo autor.

PISTA 02		PISTA 03		PISTA 04	
h ₃ (m)	259,52	h ₃ (m)	288,18	h ₃ (m)	277,09
PC ₁ (m)	258,95	PC ₁ (m)	288	PC ₁ (m)	276,52
h ₃ > PC ₁		h ₃ > PC ₁		h ₃ > PC ₁	
PISTA 05		PISTA 06 - 1		PISTA 06 - 2	
h ₃ (m)	259,83	h ₃ (m)	277,77	h ₃ (m)	277
PC ₁ (m)	259,28	PT ₁ (m)	277,36	PC ₂ (m)	276,59
h ₃ > PC ₁		h ₃ > PT ₁		h ₃ > PC ₂	

5.1.8 Superfícies Imaginárias do Aeroporto

O código de referência do aeroporto é *C-III*. Portanto, é classificado como *Transport Airport*. O tipo de operação da pista é classificado como regras de voo por instrumento por meio da implantação de sistema de pouso por instrumento de categoria I, assim, é categorizado como IFR de precisão. As dimensões das superfícies imaginárias para o aeroporto de Arapiraca conforme o código de referência do aeroporto está apresentado na Tabela 28.

Tabela 28 - Dimensões das superfícies imaginárias do aeroporto de Arapiraca

Fonte: Elaborado pelo autor

Item	Dimensão (feet)
Largura da superfície primária e largura interna da superfície de aproximação no final da pista	1000
Raio da superfície horizontal	10000
Largura da extremidade da superfície de aproximação	16000
Comprimento e inclinação da superfície de aproximação	50:1 para os primeiros 10000 feet de comprimento
	40:1 para os 40000 feet restantes de comprimento

A Figura 56 ilustra a planta do conjunto das superfícies imaginárias relativas ao projeto do aeroporto de Arapiraca. A planta foi executada no software AutoCAD 2018® versão estudantil.

Em seguida, as superfícies foram inseridas na plataforma *Google Earth Pro*. Para isto, capturou-se uma imagem do *Google Earth Pro* e, por conseguinte, efetuou-se o georreferenciamento da imagem no AutoCAD 2018® como ilustrado na Figura 57 e Figura 58 referentes à área 1.

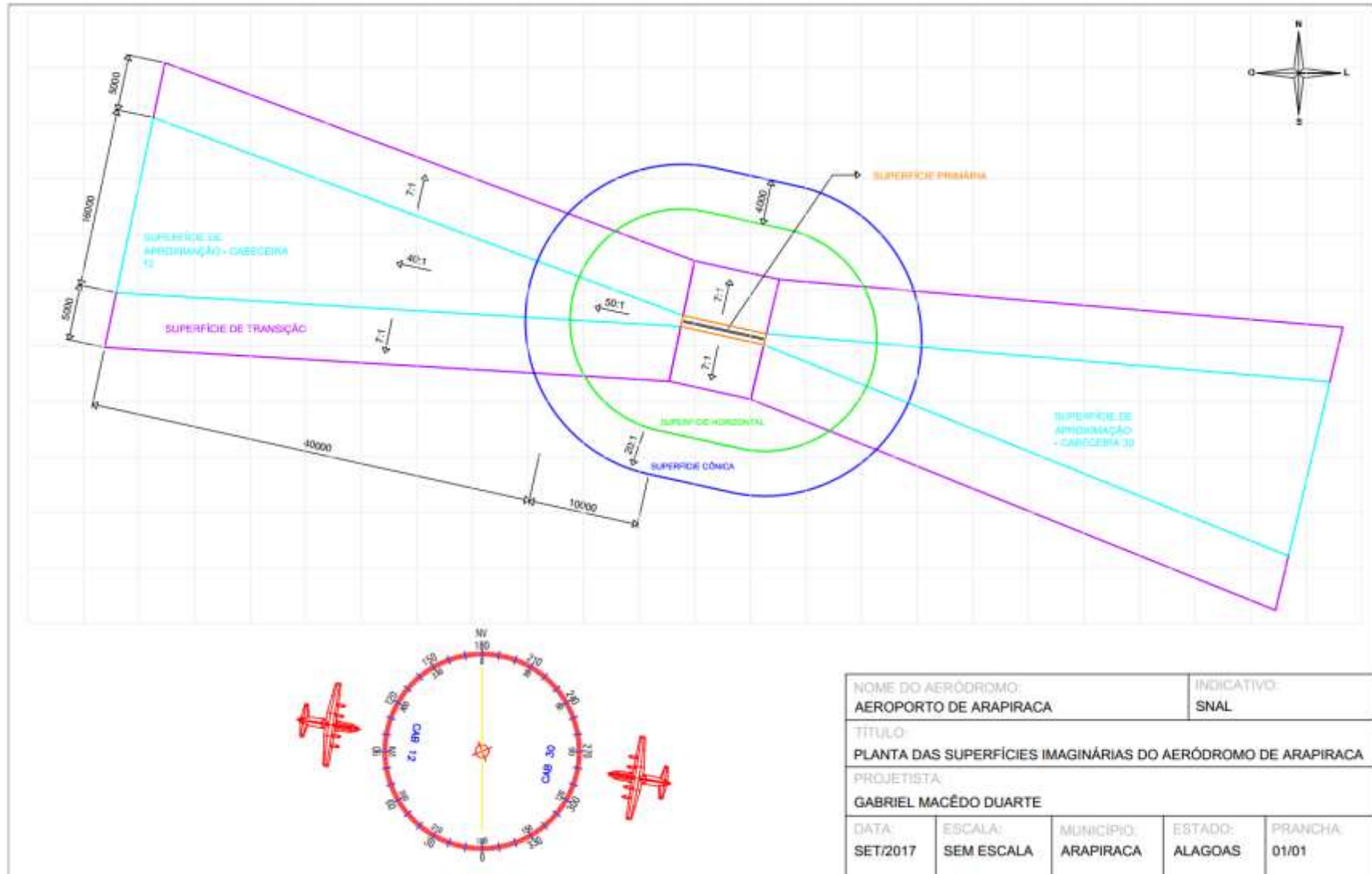


Figura 56 - Planta das superfícies imaginárias.

Fonte: Elaborado pelo autor.

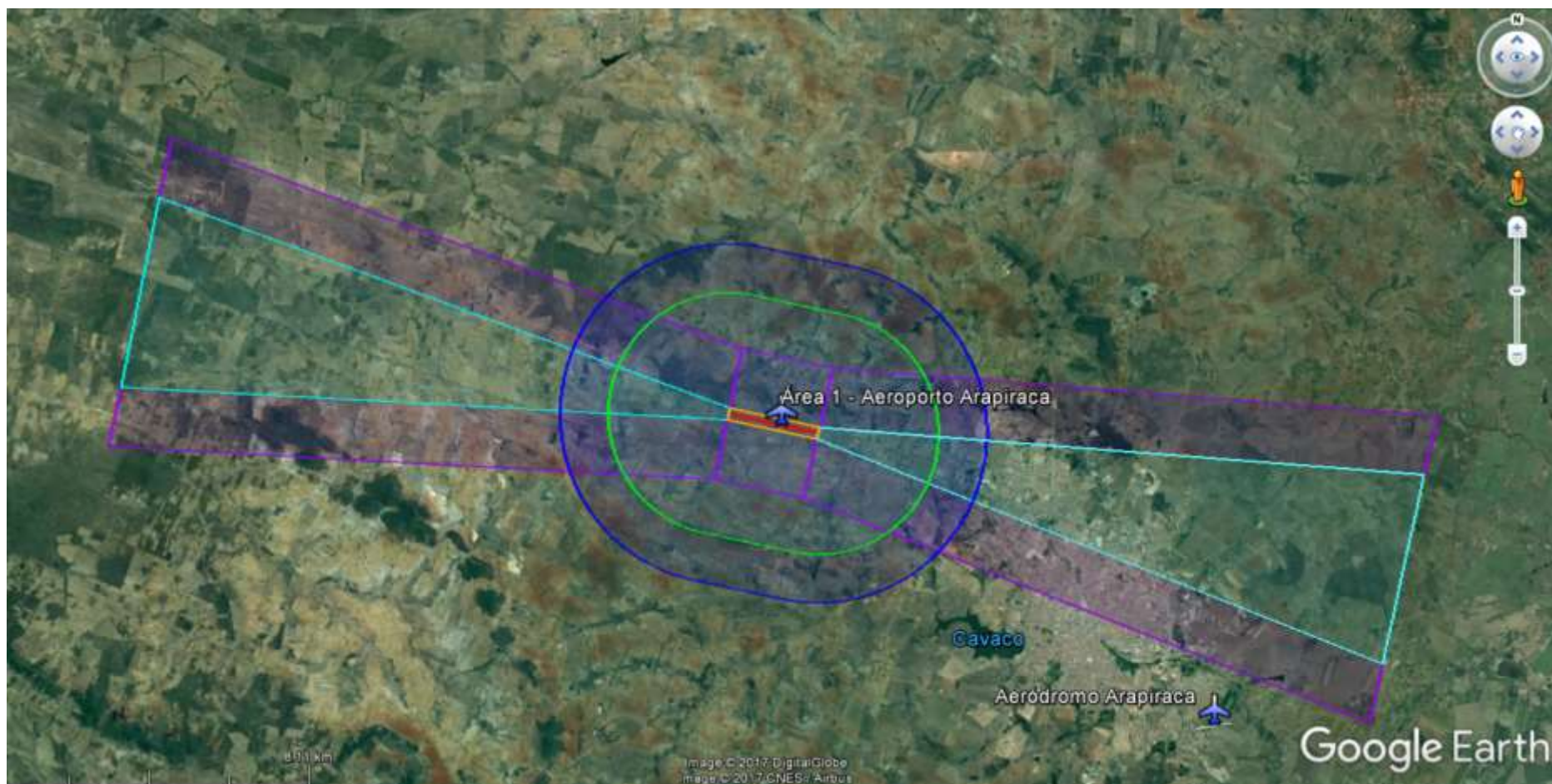


Figura 57 - Vista superior das Superfícies imaginárias do aeroporto de Arapiraca na plataforma Google Earth Pro.

Fonte: Elaborado pelo autor.

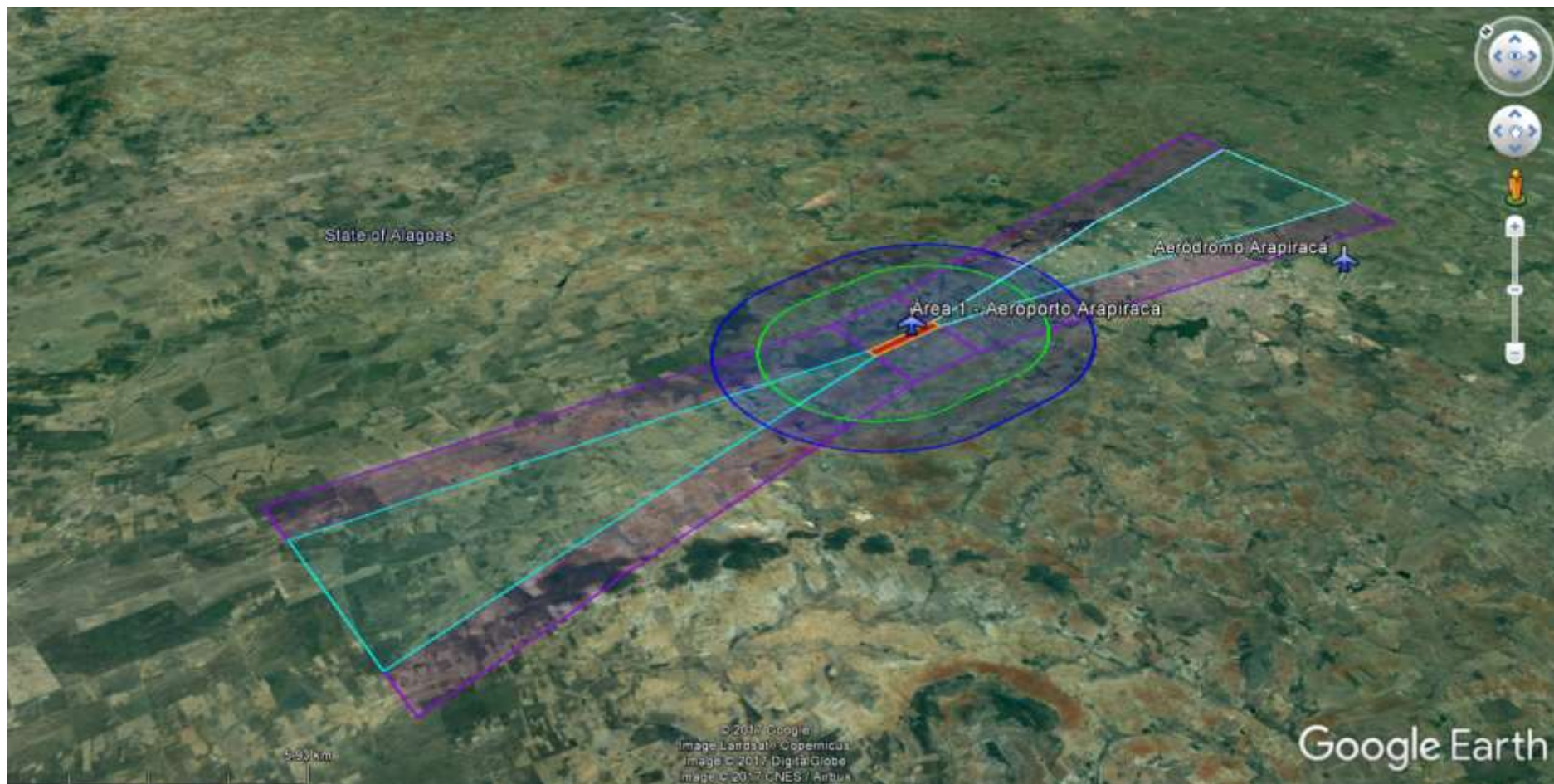


Figura 58 - Superfícies imaginárias do aeroporto de Arapiraca na plataforma Google Earth Pro.

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 Representação da Pista de Pouso e Decolagem

A sinalização horizontal da pista de pouso e decolagem foi efetuada em concordância com as recomendações publicadas pela Administração Federal da Aviação na circular consultiva n° 150/5340-1L com a utilização do software AutoCAD 2018® versão estudantil. A pista de pouso e decolagem foi seccionada em seis seções – AB, BC, CD, DE, EF e FG – a fim de representá-la devidamente nas páginas seguintes. As marcações estão ilustradas na Figura 59, Figura 60 e Figura 61. Os valores fora dos colchetes estão representados em pés enquanto que as unidades dentro dos colchetes estão representadas em metros.

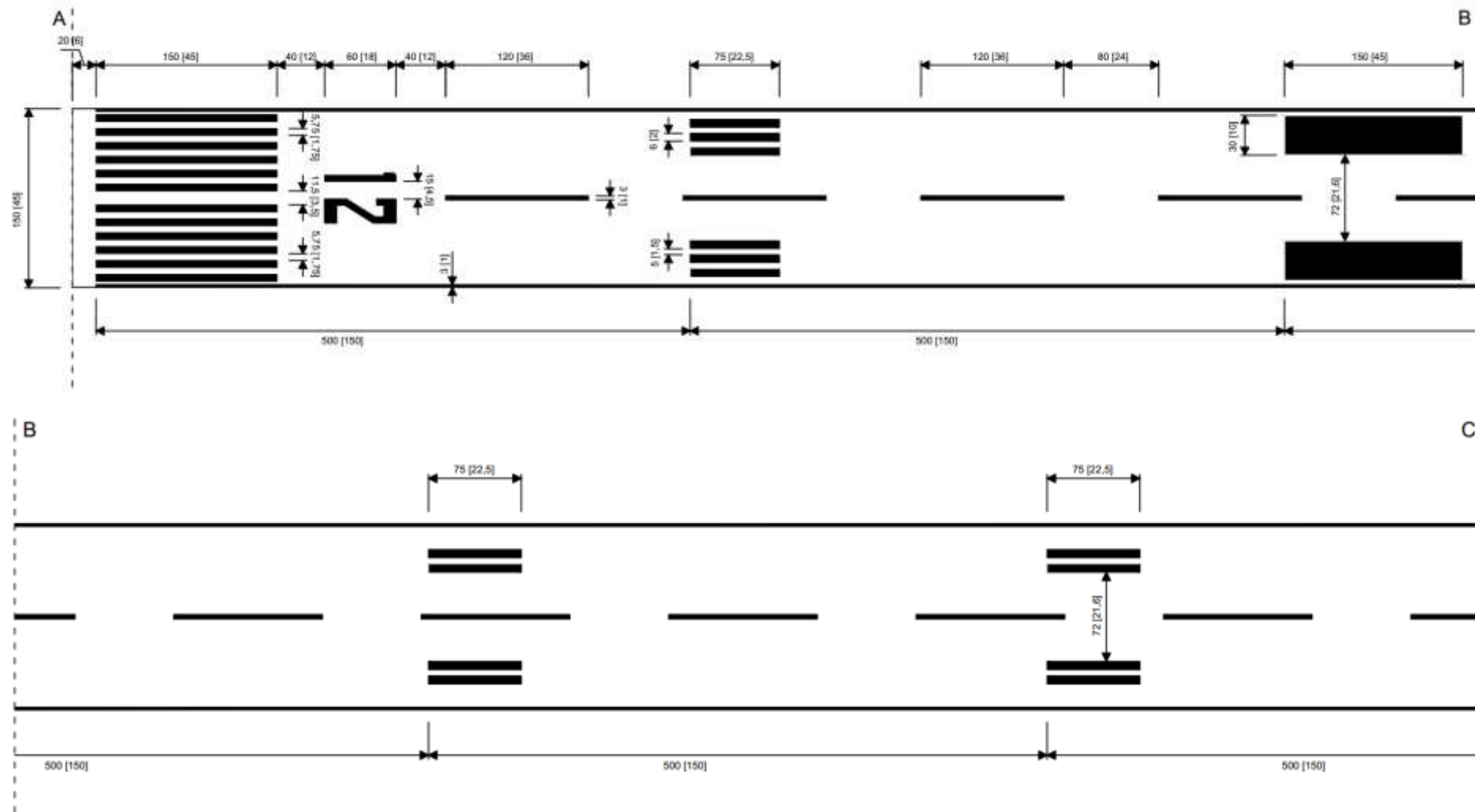


Figura 59 - Seções AB e BC da pista de pouso.

Fonte: Elaborado pelo autor.

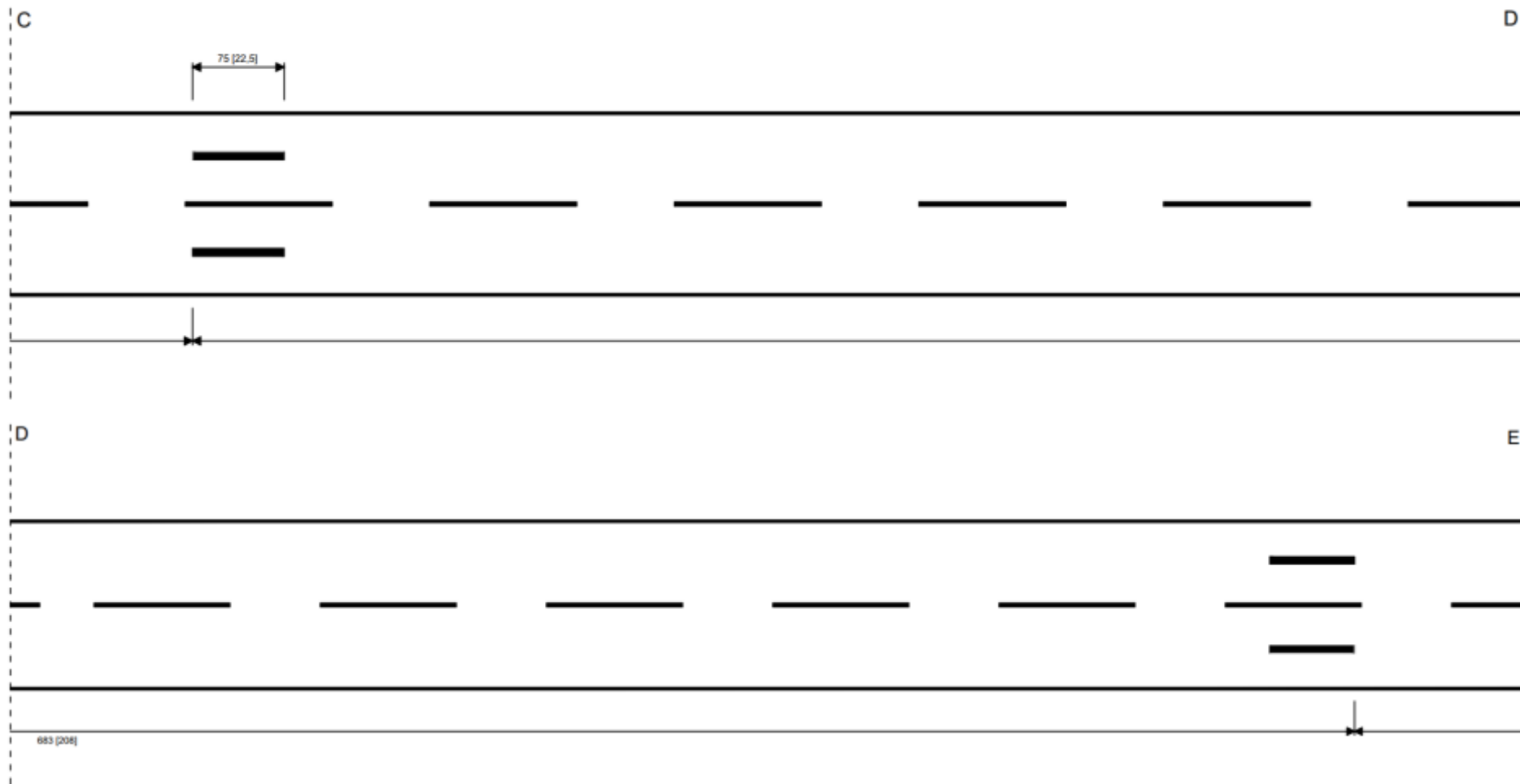


Figura 60 - Seções CD e DE da pista de pouso.

Fonte: Elaborado pelo autor.

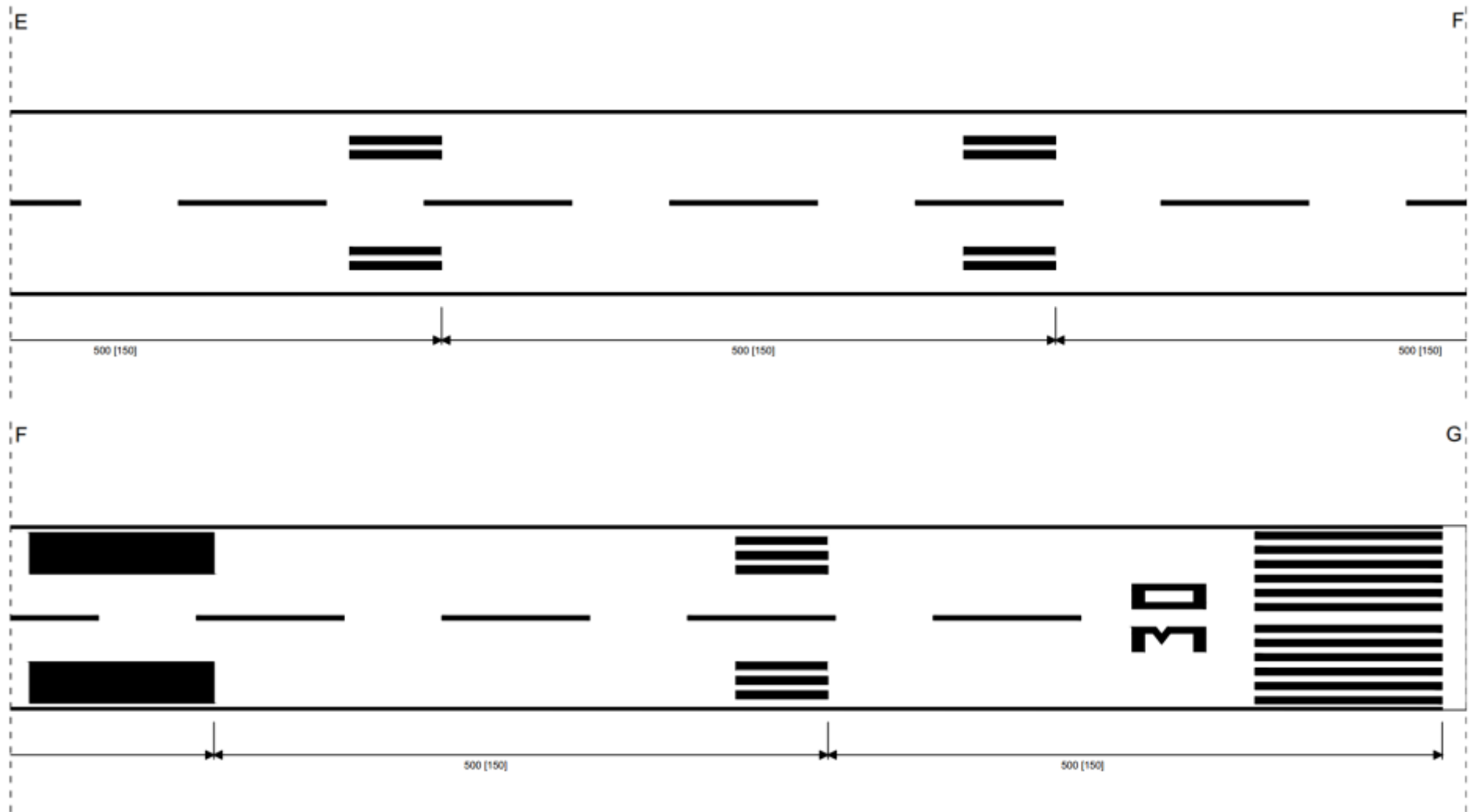


Figura 61 - Seções EF e FG da pista de pouso.

Fonte: Elaborado pelo autor.

6 CONCLUSÕES

O dimensionamento da geometria de pistas de pouso e decolagem é de suma importância para o correto funcionamento de um aeroporto e operação de aeronaves, uma vez que o comprimento de pista, basicamente, rege o tamanho e custo do aeródromo, além de limitar as aeronaves que podem operar no aeroporto. Em complemento, o comprimento da pista é dimensionado de forma a fornecer segurança suficiente para permitir que aeronaves pousem e decolem adequadamente no aeródromo.

O comprimento da pista foi determinado com base nas recomendações inseridas nas circulares consultivas da série 150, que engloba assuntos de planejamento e gerenciamento de aeroportos publicadas pela entidade governamental dos Estados Unidos denominada Administração Federal da Aviação. Diante disso, os seis sítios analisados neste presente projeto possuem dimensões adequadas para a construção das pistas conforme a orientação determinada pela análise do vento do município de Arapiraca por meio da rosa dos ventos. Todos os sítios também apresentam área suficiente para comportar o sistema de pista e as áreas de proteção, que são essenciais para a segurança dos funcionários que atuam nas proximidades das pistas de pouso e decolagem, bem como para a segurança de todos dentro das aeronaves – tripulantes e passageiros.

Em relação ao perfil longitudinal das pistas de pouso e decolagem, observa-se que todas as pistas apresentam gradientes e diferença de declividades em concordância com os limites estipulados pela Administração Federal da Aviação na circular consultiva nº 150/5300-13A. Além disso, as seis pistas foram dimensionadas em conformidade com o perfil topográfico para evitar um grandioso movimento de terra, em outras palavras, dimensionadas de forma econômica sem desviar das recomendações das circulares consultivas vigentes. Quanto à linha de visão das seis pistas, referentes aos seis sítios, nota-se que todas as pistas passam na verificação de forma que em todas as pistas dois pontos 1,5 m acima do eixo da pista são mutualmente visíveis para metade do comprimento da pista de pouso e decolagem. O perfil transversal das seis pistas foi dimensionado similarmente ao perfil longitudinal, ou seja, em concordância com o perfil topográfico e respeitando as recomendações das circulares consultivas vigentes.

As superfícies imaginárias também foram dimensionadas com base nos regulamentos publicados pela FAA, mais especificamente, FAR Parte 77: Objetos que Afetam o Espaço Aéreo Navegável. As superfícies foram representadas em forma de planta no software AutoCAD 2018® versão estudantil e, posteriormente, foram inseridas no Google Earth Pro

2015. A representação das superfícies imaginárias no Google Earth Pro é de suma importância para verificar se um terreno natural ou estrutura construída pelo homem configuram obstruções para a navegação segura das aeronaves em operação de aproximação em uma pista tanto na fase de planejamento e projeto do aeródromo quanto na fase de operação do aeroporto. Assim, as superfícies imaginárias contribuem para o controle do espaço aéreo navegável no entorno do aeroporto facilitando o trabalho dos gerenciadores de aeroportos na fiscalização de novas construções que possam se tornar obstruções ao espaço aéreo prejudicando a operação segura das aeronaves e, na pior das hipóteses, tornando o aeroporto inutilizável.

Diante do exposto acima, nota-se que as seis áreas analisadas neste presente projeto são viáveis tecnicamente para a implantação do aeroporto uma vez que atendem a todos os critérios de segurança e dimensionamento. A FAA recomenda manter as declividades longitudinais e transversais com valores mínimos, assim sendo, o sítio 4 é o mais adequado para a instalação do aeródromo visto que a pista 4 apresenta menor gradiente efetivo em comparação com as demais pistas. Ademais, a pista 4 requer menor comprimento de pista para garantir o pouso e decolagem segura das aeronaves com previsão de operar no aeródromo. A seleção definitiva do sítio mais adequado, entretanto, não depende apenas do estudo de viabilidade técnica, mas também, do estudo de viabilidade econômica. Assim, é necessário executar um estudo de terraplenagem para verificar qual localidade apresenta menor movimentação de terra e, conseqüentemente, menor custo em termos construtivos.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A Infraestrutura Aeroportuária é uma área do conhecimento extremamente ampla e de suma importância nos dias atuais devido ao crescente aumento de demanda de transporte aéreo ao redor do mundo, no entanto, existe uma grande carência de estudos e trabalhos sobre esse campo do conhecimento no Brasil, principalmente, nas instituições de ensino superior do estado de Alagoas.

Como mencionado na conclusão deste trabalho, sugere-se a execução de um estudo de terraplenagem nos seis sítios em análise para verificar qual área requer menor movimentação de terra, em outras palavras, identificar qual área apresenta menor custo em termos construtivos e, conseqüente, selecionar a área que apresente tanto viabilidade técnica quanto melhor viabilidade econômica.

Sugere-se também a análise logística da localização da instalação do aeroporto. Nesse quesito, seria verificado a existência de rodovias de acesso, rede de distribuição de energia e água, e, finalmente, proximidade do aeródromo com estabelecimentos importantes do município de Arapiraca.

Por fim, sugerem-se estudos complementares com relação ao dimensionamento dos terminais de passageiros do aeroporto, bem como de suas vias internas e estacionamentos, além da realização do dimensionamento estrutural do pavimento da pista de decolagem e pouso, analisando a melhor alternativa economicamente viável para implantação no aeroporto. Para isto, dados relacionados à previsão de tráfego do futuro aeroporto seriam necessários.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **INSTITUCIONAL**. 2017. Disponível em: < http://www.anac.gov.br/A_Anac/institucional>. Acesso em: 22 de ago. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **REGULAMENTO BRASILEIRO DA AVIAÇÃO CIVIL**. RBAC nº 154. Brasília, 2012.

AIRBUS. **A 320 - AIRCRAFT CHARACTERISTICS AIRPORT AND MAINTENANCE PLANNING**. 2017.

ASHFORD, N. J.; MUMAYIZ, S.; WRIGHT, P. H. **AIRPORT ENGINEERING: PLANNING, DESIGN, AND DEVELOPMENT OF 21ST-CENTURY AIRPORTS**. 4. ed. Hoboken: John Willey & Sons, 2011.

ATR. **600 SERIES THE LATEST GENERATION TURBOPROP**. 2014

BANKS, J. H. **INTRODUCTION TO TRANSPORTATION ENGINEERING**. 2. ed. New York: McGraw Hill, 2001.

BOEING. **737 - AIRPLANE CHARACTERISTICS FOR AIRPORT PLANNING**. 2013.

COMANDO DA AERONÁUTICA. **PLANO AEROVIÁRIO DO ESTADO DE ALAGOAS (PAEAL)**. 2004.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. **O SISTEMA DE POUSO POR INSTRUMENTO (ILS- INSTRUMENT LANDING SYSTEM)**. 2011. Disponível em: < http://www.decea.gov.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=o-sistema-de-pouso-por-instrumento-ils-instrument-landing-system>. Acesso em: 08 de jul. 2017.

EMBRAER. **EMBRAER 190 – AIRPORT PLANNING MANUAL**. 2015.

GOLDER, L. G. **APOSTILA DE AEROPORTOS**. 2012. 241 p. Apostila – Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

GRAVES, W. R.; JONES, U. O. **AIRPORT DESIGN**. 3. ed. Melbourne: Florida Institute of Technology, 2013.

HORONJEFF, R. et al. **PLANNING & DESIGN OF AIRPORTS**. 5. ed. New York: McGraw Hill, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **POPULAÇÃO**. 2017. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/arapiraca/panorama>>. Acesso em: 20 de out. 2017.

INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION. **A IMPORTÂNCIA DO TRANSPORTE AÉREO NO BRASIL**. 2016. Disponível em: <<https://www.iata.org/policy/Documents/benefits-of-aviation-brazil-2017-portuguese.pdf>>.

Acesso em: 25 de out. 2017.

JONES, U. O. **NOTAS DE AULA**. AVM 3202 – Airport Design: Runway Design – Surface Gradients – Longitudinal & Transverse Grades, Line-of-Sight (LOS). 2015. 35 p. Florida Institute of Technology.

KAZDA, A.; CAVES, R. E. **AIRPORT DESIGN AND OPERATIONS**. 2. ed. Oxford: Elsevier, 2007.

MENDONÇA, C. A. P.; SIMÕES, L. **ENCICLOPÉDIA MUNICÍPIOS DE ALAGOAS**. 3. ed. Maceió: Moura Ramos Gráfica Editora, 2012.

NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION. **MAGNETIC DECLINATION**. Disponível em: <<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/declination.shtml>>.

Acesso em: 17 de jul. 2017.

NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION. **MAGNETIC FIELD CALCULATORS**. Disponível em: <<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#declination>>. Acesso em: 03 de jul. 2017.

PIMENTA, C. R. T.; OLIVEIRA, M. P. **PROJETO GEOMÉTRICO DE RODOVIAS**. 2. ed. São Carlos: Rima, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ARAPIRACA. **RELATÓRIO DE SÍTIOS PARA IMPLANTAÇÃO AEROPORTUÁRIA EM ARAPIRACA**. Arapiraca, 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ARAPIRACA. **ECONOMIA**. Disponível em: <<http://web.arapiraca.al.gov.br/a-cidade/economia/>>. Acesso em: 05 de jul. 2017.

SECRETARIA DE ESTADO DA INFRAESTRUTURA DE ALAGOAS. **GOVERNO ANUNCIA INVESTIMENTOS PARA NOVOS AEROPORTOS EM ALAGOAS**. Disponível em: <<http://www.infraestrutura.al.gov.br/sala-de-imprensa/noticias/2013/02/governo-anuncia-investimentos-para-novos-aeroportos-em-alagoas>>. Acesso em: 09 de jul. 2017.

SECRETARIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **BRASIL É REFERÊNCIA EM SISTEMA DE POUSO POR APARELHO**. 2014. Disponível em: <<http://www.aviacao.gov.br/noticias/2014/07/brasil-e-referencia-em-sistema-de-pouso-por-aparelho>>. Acesso em: 07 de jul. 2017.

UNITED STATES. Federal Aviation Administration. **AIRPORT DESIGN**. Advisory Circular n° 150/5300-13A. Washington, DC, 2014.

UNITED STATES. Federal Aviation Administration. **RUNWAY LENGTH REQUIREMENTS FOR AIRPORT DESIGN**. Advisory Circular n° 150/5325-4B. Washington, DC, 2005.

UNITED STATES. Federal Aviation Administration. **STANDARDS FOR AIRPORT MARKINGS**. Advisory Circular n° 150/5340-1L. Washington, DC, 2013.

WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **CIVIL AIRPORT IMAGINARY SURFACES**. 2017. Disponível em: <<http://www.wsdot.wa.gov/aviation/Planning/CivAPImagSurfBig.htm>>. Acesso em: 06 de jul. 2017.

YOUNG, S. B.; WELLS, A. T. **AIRPORT: PLANNING AND MANAGEMENT**. 6. ed. New York: McGraw Hill, 2011.