

Revista da Graduação

Vol. 4

No. 1

2011

15

Seção: FACULDADE DE ENGENHARIA

Título: Fatores que condicionam a construção de
pistas em aeródromos

Autor: Gabriel Quadros de Azeredo

Este trabalho está publicado na Revista da Graduação.

ISSN 1983-1374

<http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/graduacao/article/view/8593/6079>



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**FATORES QUE CONDICIONAM A CONSTRUÇÃO DE PISTAS EM
AERÓDROMOS**

**APLICAÇÃO PRÁTICA: PROPOSTA PARA A OPERAÇÃO DO AIRBUS
A380 NO AEROPORTO SALGADO FILHO EM PORTO ALEGRE**

ALUNO: GABRIEL QUADROS DE AZEREDO
ORIENTADORA: PROF.^a Eng. ME. MARIA REGINA COSTA LEGGERINI

Porto Alegre

2010

Fatores que condicionam a construção de pistas em aeródromos

Autor: Gabriel Quadros de Azeredo

Orientadora: Prof.^a Eng. Me. Maria Regina Costa Leggerini

RESUMO

A principal estrutura de um aeródromo, a pista de pousos e decolagens, possui condicionantes que devem ser obedecidas pelo projetista no planejamento e no projeto de aeroportos, tais como: dimensões e localização. Este trabalho contemplará estes requisitos para o estudo de um anteprojeto e para o planejamento de aeroportos, apresentando as regulamentações e as padronizações internacionais no âmbito da construção de aeródromos, bem como fazendo a aplicação dos estudos para que a maior aeronave do mundo o Airbus A380 opere no Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre.

Palavras-chave: Aeroporto. Projeto Aeroportuário. Airbus A380. Dimensionamento de Pistas e Aeródromos.

1. INTRODUÇÃO

No início do século XIX com o aumento da fabricação de aeronaves inúmeros acidentes aeronáuticos vieram a ocorrer em virtude da falta de uma regulamentação eficaz. A história da aviação civil mundial demonstrou que os estudos sobre os fatores que condicionam a construção de um aeródromo e de aviões são importantes, já que as guerras e as viagens intercontinentais se voltaram à utilização de aeroplanos, seja pela sua agilidade, seja pela sua autonomia ou pela sua economia.

Em meados de 1903, os irmãos Wright colocaram em voo um engenho mais pesado do que o ar catapultado por outro equipamento, ou seja, sem autopropulsão. Esse voo não foi reconhecido na história da aviação por dois motivos: primeiro por ter sido lançado por uma máquina auxiliar e segundo por

não ter presença de testemunhas públicas, não caracterizando, portanto um evento com credibilidade pública como o “14-bis”. Em 1906, o brasileiro Santos Dumont pôs no ar o primeiro aeroplano reconhecido e autopropelido do mundo, o “14-bis”. Desde então a construção de aviões e a navegação aérea cresceram velozmente no âmbito mundial, fazendo-se necessária a regulamentação de construção de aeronaves e de aeródromos bem como dos voos que evoluem no espaço aéreo. Em 1919, reuniram-se em Paris aviadores e estudiosos para uma convenção de regulamentação da navegação aérea, com o intuito de normatizar a operação de aeronaves, os pilotos e equipes de comunicação aeronáutica. Porém, foi na Convenção sobre Aviação Civil Internacional (Convention on International Civil Aviation), ou Convenção de Chicago, que se estabeleceu a criação de uma organização para regulamentar a aviação civil internacional, onde se criou a ICAO (International Civil Aviation Organization) responsável pelas padronizações e regulamentações aéreas mundiais, que são sendo seguidas até hoje pela maioria dos países do mundo.

Este trabalho tem o objetivo de elencar as peculiaridades do projeto da pista de um aeródromo, apresentando os diversos fatores que a condicionam, tais como o seu comprimento, sua posição e os locais de sua instalação. Pretende-se, assim, dar um conhecimento básico dos conceitos aeronáuticos associados a um projeto aeroportuário, para que um engenheiro civil possa projetar diversas construções que compõem um aeródromo. Por exemplo, a pista, que não deixa de ser uma estrada de dimensões avantajadas com condições especiais de uso, e até mesmo os próprios terminais de passageiros ou cargas.

Além disso, o trabalho irá propor a operação do Airbus A380 no aeroporto Salgado Filho em Porto Alegre. Por se tratar do maior avião do mundo, com dimensões avantajadas, devemos recalcular as dimensões da pista principal do aeródromo, e concluir se as características físicas atuais comportam tal operação. Pretende-se, assim, elencar os temas abordados no trabalho com a prática de operação do A380.

1.1. Tema da Pesquisa:

O tema escolhido para a pesquisa foi: “*Fatores que condicionam a construção de pistas em aeródromos*” fazendo a aplicação prática para que o maior avião do mundo opere no Aeroporto Salgado Filho.

1.2. Justificativa do Tema:

O conhecimento de padronizações, de regulamentações e dos fatores que condicionam a construção de pistas de pousos e decolagens em aeródromos são de suma importância para a formação do Engenheiro Civil, haja visto que ele já tem os princípios básicos de construção, porém, há a necessidade de demonstrar a peculiaridade de operação das aeronaves, bem como a do anteprojeto para implantação de um aeroporto.

1.3. Objetivo:

Este trabalho acadêmico tem o objetivo de dar ao engenheiro civil um entendimento mínimo das peculiaridades de um projeto de pistas de aeródromos, principalmente do ponto de vista de seus condicionantes, que são: a operação de aeronaves, vento, temperatura, pressão, obstáculos entre outros, elencando os diversos fatores e as diversas formas de se obter o comprimento e posição de pistas em aeródromos. Pretende-se, assim, dar um conhecimento básico dos conceitos aeronáuticos associados a um projeto aeroportuário, como as regulamentações, as padronizações e o conhecimento técnico de aeronaves em geral, para que um engenheiro civil possa, com estes conhecimentos, planejar, projetar e executar pistas de aeródromos.

1.4. Delimitações do Trabalho:

Serão apresentadas no trabalho as regulamentações padronizadas pela ICAO e as do Brasil. Não serão mencionadas regulamentações de países, como Rússia, China, África, etc. Também são delimitações do trabalho: estudo da escolha do sítio aeroportuário, padronização de aproximações por

instrumentos (ILS), projeto geométrico de taxiway's, terminais, dimensionamento do pavimento, drenagem, sinalização, iluminação e zonas de proteção de ruído. Esses, que englobam o planejamento e projeto de um aeroporto.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Este trabalho será baseado nas regulamentações aeronáuticas padronizadas, traduzidas e adequadas à legislação brasileira. Segundo o Ministro da Defesa Nelson Jobim, a *Força Aérea Brasileira* é responsável por regulamentar os serviços da aeronáutica, tendo como princípios as técnicas estabelecidas internacionalmente, considerando as demandas aeroportuárias do Brasil.

Em âmbito internacional, esta regulamentação fica a cargo da ICAO (International Civil Aviation Organization) ou OACI (Organização da Aviação Civil Internacional).

Segundo Robert Horonjeff, professor de Engenharia de Transportes e engenheiro de pesquisas do Instituto de Engenharia de Transporte e de Tráfego da Universidade da Califórnia, a Organização da Aviação Civil Internacional têm o objetivo de desenvolver os princípios e as técnicas de navegação aérea internacional, a organização e o progresso dos transportes aéreos. Complementando esse conceito a Dra. Eng.^a Lenise Grando Goldner, engenheira civil, professora de Engenharia de Transportes na Universidade Federal de Santa Catarina, afirma que para projetistas de aeroportos, o documento mais importante publicado pela OACI é o anexo 14 que regula o projeto, o planejamento e a construção de aeródromos. Além disso, o Eng.^o Nelson Goldner, Engenheiro civil, especialista em Planejamento de Aeroportos, militar da Reserva do Quadro de Engenheiros da Aeronáutica guia a pesquisa nos Manuais de Projetos da ICAO, Aerodrome Design Manual - Parte I - Runway, que trata sobre projeto de pistas de pouso e decolagem abordando as definições de comprimento de pista, fatores de correção e dados do projeto geométrico.

Mais um exemplo de entidade que regulamenta a construção de aeródromos, porém, somente para os Estados Unidos, mas que serve de auxílio na elaboração de normas brasileiras é a FAA (Federal Aviation Administration). Para R. Horonjeff, ela é uma Entidade Federal Americana do poder Executivo independente e diretamente subordinada ao Presidente. Além disso, é interessada no planejamento e na construção de aeroportos, estimulando a implantação de aerovias civis, de áreas de pouso, e de outras facilidades de navegação aérea. Também classifica as aerovias federais, bem como se encarrega de sua manutenção, executa o controle e a proteção do tráfego aéreo, executa e supervisiona as instalações aeronáuticas e proporciona a assistência técnica a todos os envolvidos com o planejamento, projeto, construção, administração, operação e manutenção de aeroportos no âmbito norte-americano.

Contrapondo essa filosofia a professora Dra. Eng.^a Lenise orienta que a FAA é uma entidade do governo norte-americano subordinada a USDOT (United State Department of Transportation) que regula tecnicamente as aeronaves, a tripulação, o espaço e tráfego aéreo, a navegação, a administração e os aeroportos. Ela nos baliza, ainda, a checar o FAA - Advisory Circular quando trata, dentre outros assuntos da construção de aeródromos. Inclusive, há o Advisory Circular (AC 150/5325-4) que trata exclusivamente sobre o dimensionamento no comprimento de pista de pouso e decolagem de aeronaves.

Já na esfera brasileira, segundo Plínio de Oliveira Lima Junior, Controlador de Tráfego Aéreo e autor do livro “Regulamentos de Tráfego Aéreo”, cabe ao Ministério da Defesa, subsidiado pelo Código Aeronáutico Brasileiro, a responsabilidade pelo gerenciamento de todos os negócios das Forças Armadas do Brasil através dos Comandos do Exército, da Marinha e da Aeronáutica.

Em decreto o Tenente Brigadeiro do Ar Juniti Saito, Comandante do Comando da Aeronáutica (COMAER) dispôs sobre a responsabilidade do COMAER “*manter a soberania no espaço aéreo nacional com vistas à defesa da pátria*”. Além do mais, coube a ele a responsabilidade de transferir as funções

de controle e fiscalização do antigo DAC (Departamento de Aviação Civil) para a ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) que juntamente com o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), tem a responsabilidade de aplicar Normas e Métodos recomendados pela OACI, assim como a aplicabilidade de normas, métodos ou procedimentos somente adotados no Brasil, os quais são informados à aviação civil internacional através de publicações convenientes. Antes da extinção do DAC, o então diretor-geral do departamento de aviação civil, Major Brigadeiro do Ar Washington Carlos de Campos Machado, institui a Instrução da Aviação Civil n.º 2328 que trata sobre a autorização de construção de aeródromos civis e de aeroportos brasileiros.

Em conjunto com o Comando da Aeronáutica, a doutrina da lei nº 11.182, de 27 de setembro de 2005, nos diz que a ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), entidade integrante da Administração Pública Federal indireta, submetida ao regime autárquico especial vinculado ao Ministério da Defesa, assumiu as funções do antigo DAC, fiscalizando as atividades de aviação civil e de infraestrutura aeronáutica e aeroportuária. Outra orientação da Eng.º Dra.º Lenise é que o regulamento de mais valia ao projetista aeroportuário, criado pela ANAC, é o RBAC 154, regulamento brasileiro da aviação civil que corresponde a tradução e a adequação do Anexo 14 – Volume I Aeródromos da ICAO trata sobre o projeto de aeródromos.



Figura 1 - Organograma do Ministério da Defesa Brasileira, 2007.
Fonte: Junior, Plínio de Oliveira Lima (2007, p.28).

Saindo do âmbito regulador, temos que segundo o RBAC 154 da ANAC o comprimento real de pistas para pouso e decolagem é a maior dimensão entre os requisitos operacionais da aeronave e o maior comprimento determinado ao se aplicarem as correções de condições locais e operacionais da aeronave.

Neste sentido, outra doutrina, disposta no livro do R. Horonjeff que trata sobre o comprimento básico da pista em um aeródromo, transcende um pouco do RBAC 154 e diz que comprimento básico é o comprimento necessário para que uma determinada aeronave até sua decolagem ou seu pouso evolua, obedecendo três critérios: a operação da aeronave, as condições locais e o estudo das prováveis falhas do motor.

Em um resumo sucinto o Eng.º Nelson Goldner diz que basicamente a determinação do comprimento de pista de um aeroporto dependerá de fatores como altitude de referência do aeródromo (AR) no local onde se deseja construir o aeroporto, da temperatura de referência (TR) e da declividade longitudinal da pista (S), onde S é obtido dividindo-se a diferença entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo da pista e o comprimento total da pista. Estes fatores são aplicados sobre o comprimento de referência da pista definido para a aeronave de projeto do aeroporto, isto é, aquela que exige o maior comprimento de pista obtido diretamente da tabela no anexo final do RBAC – 154 ou do Manual de Projetos da ICAO – Parte I: Runway.

Outra forma de se obter este comprimento é através da consulta direta aos ábacos dos Manuais de Planejamento dos Fabricantes das Aeronaves, denominados Airport Planning, é nestes manuais de operação das aeronaves que são considerados como fatores determinantes do comprimento de pista, o vento (de proa ou través) e a declividade da pista. Assim, o escopo deste trabalho não fugirá destes fatores, seja usando diretamente os ábacos do Airport Planning das aeronaves ou usando os fatores de correção de altitude, de temperatura e de declividade com emprego da fórmula da ICAO, definida no Manual de Projetos.

A partir destes conceitos e das regulamentações apresentadas, o trabalho abordará o tema de construção de pistas e os diversos fatores que condicionam a sua construção.

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

Considerando que o este trabalho acadêmico tem o objetivo de dar ao engenheiro civil um entendimento mínimo das peculiaridades de um projeto de

pistas de aeródromos, principalmente do ponto de vista de seus condicionantes, elencando os diversos fatores e as diversas formas de se obter o comprimento e a posição de pistas em aeródromos, será apresentada uma pesquisa exploratória, visando maior familiaridade com tais condicionantes, envolvendo o levantamento bibliográfico, entrevistas e a análise de exemplos que estimulem sua compreensão.

Além disso, o trabalho fará a proposição para que a maior aeronave do mundo, Airbus A380, opere no Aeroporto Salgado Filho em Porto Alegre, será feita a proposta de aumento na largura e comprimento da pista.

4. APLICAÇÃO

4.1. Noções Aeronáuticas:

No projeto e planejamento de aeroportos, é indispensável que o Engenheiro Civil conheça as características e o funcionamento das aeronaves que operarão no aeródromo que será projetado.

Sendo assim, o avião é um veículo que voa devido à força de sustentação obtida pelo efeito dinâmico das asas sobre o ar. Seus componentes básicos são: asas, superfícies móveis, grupo moto propulsor e fuselagem.

Para o dimensionamento de pistas de aeródromos são considerados aspectos aeronáuticos inerentes ao estudo aeroportuário, que são:

➤ Dimensões da aeronave: A envergadura das asas, o comprimento da fuselagem e a altura da empenagem afetam as dimensões dos pátios de estacionamento e dos hangares e as separações laterais das pistas de rolamento.



Figura 2 – Dimensões das Aeronaves
Fonte: Horonjeff, Robert (1966, p. 84)

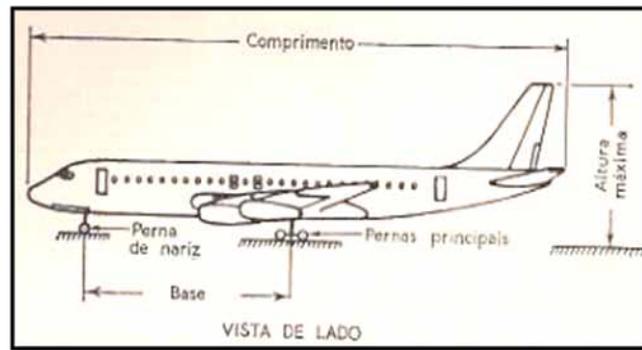


Figura 3 – Dimensões das Aeronaves
 Fonte: Horonjeff, Robert (1966, p. 84)

➤ **Capacidade:** A capacidade das aeronaves em passageiros, carga e combustível, influencia as dimensões e as disposições das instalações para passageiros e carga, bem como os métodos de armazenamento de combustível e de aeronaves.

➤ **Raio de Ação:** Esta característica influi na frequência das operações e, em consequência, na capacidade das pistas, nas dimensões dos pátios e das instalações de passageiros.

➤ **Propulsão:** As aeronaves são classificadas de acordo com o tipo de propulsão que possuem.

- **Motor a propulsão:** Aplica-se a todas as aeronaves de propulsão acionada por motores alternativos a gasolina;

- **Turboélice:** A energia é gerada por motores a turbina;

- **Turbojatos:** São aqueles que não dependem de hélices, obtendo a tração diretamente de um motor a turbina;

- **Turbofan:** Mesma definição de Turbojatos, única diferença é o acréscimo de uma ventoinha na parte traseira, melhorando, assim, a tração, a capacidade ascensional, diminuição do ruído e requer menor extensão de pista.

➤ **Estol:** Indica a separação do fluxo de ar no extradorso da asa (parte de cima), resultando na perda total de sustentação. Uma aeronave em situação de estol não está voando, mas caindo verticalmente. Isto acontece devido ao grande ângulo de ataque (ângulo formado entre a corda do aerofólio com o vento relativo) e baixa velocidade.

➤ **Procedimentos de decolagem:** Decolagem é a transição do deslocamento no solo para o voo, é iniciada na cabeceira da pista, onde o

piloto usa toda a potência do avião para começar a corrida de decolagem, e termina quando o avião atinge uma altura aproximada de 50 pés. A rolagem do avião (momento em que o piloto tenciona o manche, fazendo com que o trem do nariz comece a sair do chão) se dá na VR (Velocidade de Rotação), e esta é caracterizada como a velocidade acima do estol.

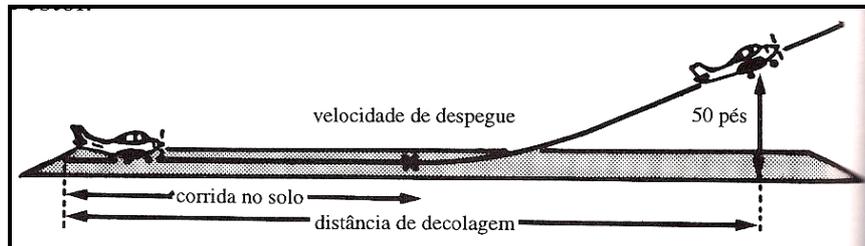


Figura 4 – Distância de Decolagem
Fonte: Saintive, Newton (2006, p. 146)

Variáveis que afetam a distância de decolagem:

1. Peso do avião: Quanto mais pesado o avião estiver, maior irá ser a redução de aceleração no solo e no ar, aumentando a velocidade de estol consequentemente aumentando a distância de decolagem.

2. Condições Meteorológicas:

a. Densidade do ar: Afeta a potência do motor, a tração, o arrasto e a sustentação, porém, em uma decolagem o efeito maior é a influencia na potência do motor que balizará a distância de decolagem. Sabemos que a densidade do ar é alterada pela temperatura, umidade e altitude pressão.

b. Ventos: Pelo principio de Bernoulli, a sustentação nas asas será maior se o fluxo de ar que passa no extradorso for maior que o fluxo de ar que passa no intradorso das asas, logo, em uma condição de vento de proa, mais rápido será a rotação do avião, devido ao efeito do vento sobre as asas, gerando, assim, mais sustentação.

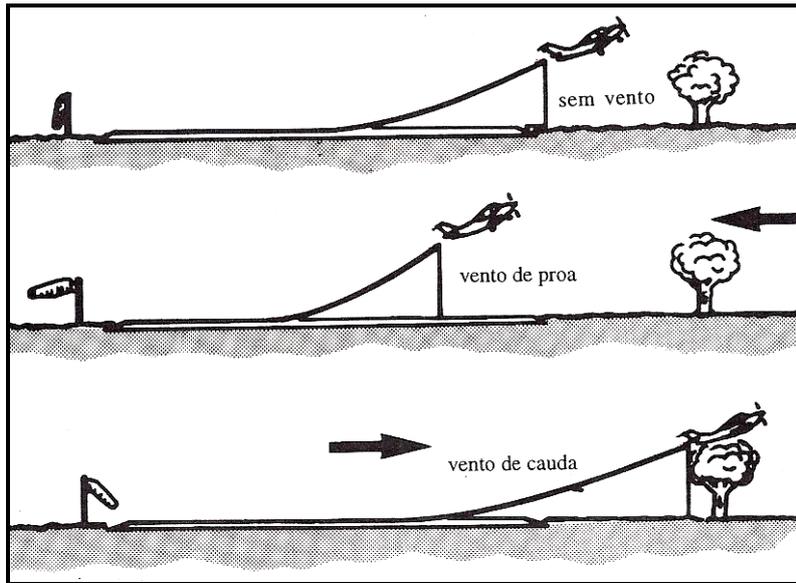


Figura 5 – Efeito do vento na decolagem.
 Fonte: Saintive, Newton (2006, p. 147)

Além de ventos de cauda e de proa, temos também, os ventos cruzados que influencia a distância de decolagem, isso se deve ao fato de um vento atravessado defletir o leme e os ailerons gerando um aumento no arrasto e conseqüentemente um aumento na distância de decolagem.

3. Pista: Assim como as condições meteorológicas e o peso do avião influenciam na distância de decolagem, a pista também influirá, dependendo do tipo de pavimentação que for utilizada na pista, teremos diferentes coeficientes de atrito entre a pista e o trem de pouso da aeronave, conseqüentemente diferentes distancias de decolagem.

➤ Procedimentos de aproximação e pouso: Pouso é a transição do voo para a operação no solo e aproximação é a desaceleração, em voo, da aeronave para que a velocidade de toque na pista seja 15% superior da velocidade de estol (V_s). Distância de pouso é a distância, a partir da cabeceira (50 pés de altura e 130% V_s), até o ponto de parada.

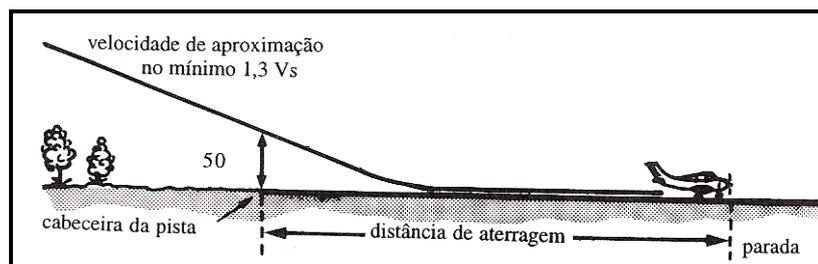


Figura 6 – Efeito do vento na decolagem.
 Fonte: Saintive, Newton (2006, p. 147)

Variáveis que afetam a distância de pouso/aterragem:

1. Peso da Aeronave: Quanto maior o peso maior a distância de aterragem, não só porque maior peso significa um aumento na velocidade de estol, mas também por aumentar a inércia do avião.

2. Posição do Flape: Flape é um dispositivo hipersustentador que tem a função de aumentar o coeficiente de sustentação do aerofólio, diminuindo a velocidade de estol e aumentando a sustentação da aeronave, permitindo que, num pouso, o avião toque a pista mais próximo da cabeceira.

3. Condições Meteorológicas: Maior altitude densidade resulta em maior velocidade aerodinâmica, necessitando maior distância de pouso. Além disso, vento de proa reduz a distância de aterragem.

4. Pista: De acordo com a pavimentação existente maior ou menor serão os coeficientes de atrito, permitindo diferentes tipos de frenagem.

➤ Peso da Aeronave:

- Peso Básico Operacional: Peso do avião pronto para operar excluindo-se a carga paga e o combustível utilizável. Incluem estruturas, assentos, equipamentos diversos e tripulação.

- Carga Paga: toda a carga transportada que produz receita. Compõe-se de passageiros, bagagem, correio, carga.

- Combustível Total: compreende combustível de bloco mais a reserva.

➤ Limitantes estruturais da aeronave:

- Peso zero combustível: Peso máximo que pode ter a aeronave carregada, porém, sem combustível;

- Carga paga estrutural: É o máximo peso que pode ter a carga paga, seja ela passageiro, carga, correio ou uma combinação destes itens;

- Peso estrutural de decolagem: Peso máximo com que a aeronave pode decolar, supondo-se que não existam limitantes operacionais.

- Peso estrutural de pouso: É o máximo peso com o qual a aeronave pode pousar, supondo-se que não existam limitantes operacionais.

- Peso estrutural de rampa ou de taxi: É o máximo peso com o qual a aeronave poderá iniciar o taxi, ou seja, sair dos calços e se dirigir a cabeceira da pista;

- Capacidade máxima dos tanques: É o máximo volume de combustível que o avião admite.

➤ Limitantes operacionais (dependem das condições aeroportuárias).

- Peso máximo de decolagem: Sempre menor ou igual ao peso máximo estrutural de decolagem. É imposto pelo comprimento e declividade da pista, temperatura, pressão, pneus, entre outras.

- Peso máximo de pouso: Sempre menor ou igual ao peso máximo estrutural de pouso. É imposto pelas condições reinantes de pouso, comprimento e declividade da pista além do estado da superfície da pista.

4.2. Dimensionamento do Comprimento de Pista:

➤ Definições:

As velocidades declaradas abaixo são estudadas e informadas pelos fabricantes das aeronaves nos manuais de instrução.

- V1 - Velocidade de Decisão: Velocidade, escolhida pelo operador, à qual se admite que, ao ser reconhecida uma perda súbita ou total de potência no motor, é possível frear o avião até sua parada total ou continuar a decolagem sem o motor crítico, ou seja, é a velocidade na qual a tripulação decide de continuar ou inicia uma RTO (Reject Take-Off - Rejeição de Decolagem).

- VR – Velocidade de Rotação: Velocidade na qual o piloto inicia a rotação da aeronave, levantando o nariz, tirando do chão o trem do nariz.

- VLOF – Velocidade de Decolagem: Velocidade que se tira o avião da pista e se inicia o voo sustentando-se no ar, esta velocidade ocorre logo após a VR (Lift-off speed)

- V2 – Velocidade de Subida: Velocidade mínima com a qual o piloto pode dar início à subida depois de ter passado 35ft de altura sobre a superfície da pista de decolagem.

- TORA – Take-Off Run Available: É o piso disponível para decolagem, ou seja, é o comprimento da pista disponível para o trajeto, no solo, de uma aeronave que decola, é o comprimento físico do pavimento da pista.

- ASDA – Accelerate-Stop Distance Available: É a distância utilizável para a parada de decolagem, ou seja, é o comprimento de pista disponível para a decolagem, mais o comprimento da zona de parada “stopway” (se houver)
- TODA – Take-Off Distance Available: É a distância utilizável para decolagem, ou seja, é o comprimento do piso disponível para decolagem, mais o comprimento da área desimpedida (se houver)
- LDA – Landing Distance Available: É a distância utilizável para pousos, ou seja, é o comprimento da pista disponível para que uma aeronave pouse com segurança, é na maioria das vezes o comprimento físico do pavimento da pista, porém, se a cabeceira for deslocada, em virtude da zona de proteção, a LDA contará a partir do deslocamento da cabeceira.

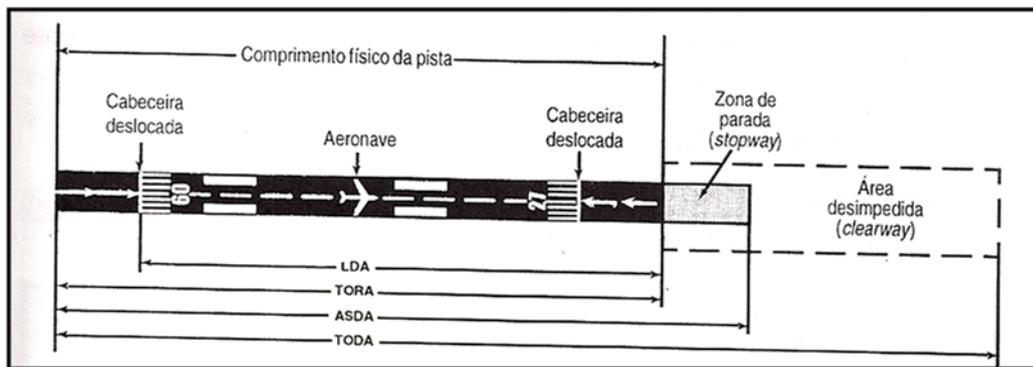


Figura 7 – Dimensões das Aeronaves
 Fonte: Horonjeff, Robert (1966, p. 84)

➤ Fatores que Condicionam o Comprimento da Pista:

1. *Regulamentos locais;*

O cálculo no dimensionamento do comprimento de uma pista deve obedecer dois critérios básicos:

- a. Iniciada a decolagem o piloto tem autonomia de abortá-la e parar com segurança, dentro dos limites estabelecidos ou completar a decolagem e iniciar a subida com segurança, sem obstáculos a sua frente.

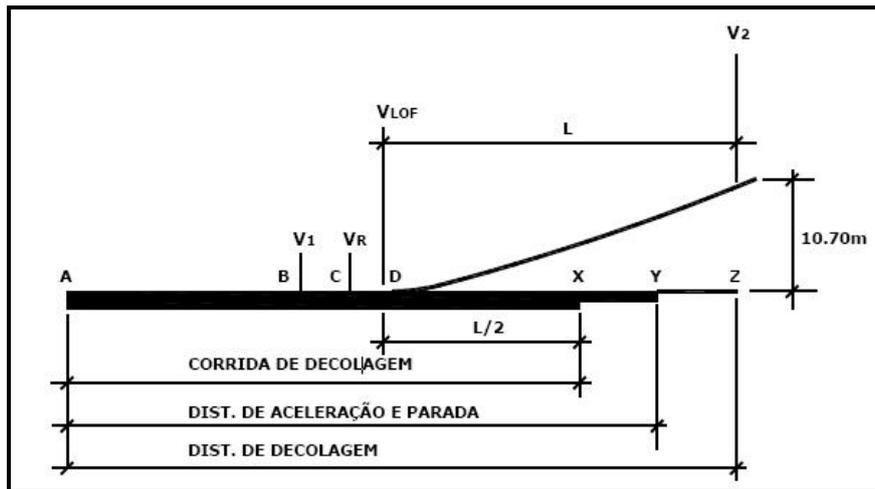


Figura 8 – Decolagem com falha de 1 motor em V1

Fonte: Goldner, Lenise Grando; Santos, Juliana Vieira dos; Junior, Valmir Cominara (2009, p. 38)

Considerando o avião parado na cabeceira da pista, ponto A da figura 5, o piloto aplica potência máxima nos motores iniciando a corrida de decolagem. Se ocorrer falha parcial ou total dos motores em V1, o piloto deverá decidir entre interromper ou continuar a decolagem.

1º. Interromper a decolagem: o piloto deverá retirar a potência aplicada e aplicar os freios na aeronave, devendo ter a parada total do avião em Y (zona de parada ou “stopway”), à distância AY chama-se “Distância de Aceleração e Parada” ou ASDA. O “stopway” (figura 7) é definido como uma zona além da pista com mesma ou maior largura e com eixo simétrico a pista, capaz de suportar o avião em uma frenagem brusca após a corrida de decolagem, sem afetar a estrutura do avião.

2º. Continuar a decolagem: a aeronave devesse manter seu percurso em aceleração até atingir a velocidade de rotação (VR) com a qual se ergue o trem de nariz e inicia-se a decolagem (VLOF). Nestas condições o aeroplano deverá ser capaz de atingir no ponto Z (figura 5) uma altura de 10,7m ou (35ft) e velocidade maior ou igual a V2, para que se possa voltar a pista e iniciar uma aproximação de pouso. A distância AZ é chamada de “Distância de Decolagem” ou TODA.

Se a falha ocorrer antes de V1 o piloto interromperá a decolagem e acionará os dispositivos de frenagem do avião parando, assim, antes do ponto Y, este é o procedimento correto, haja vista que a velocidade de tomada de decisão e a VR não foram alcançadas e, nestas condições, o avião não terá

potência nos motores e a ação de sustentabilidade no ar será insuficiente para retirar a aeronave da pista, por isso aborta-se a decolagem de imediato.

Quando não há falhas no motor, o avião correrá normalmente até atingir as velocidades declaradas, V_1 , VR , V_2 , $VLOF$, conseqüentemente as distâncias para atingir estas velocidades serão menores do que teríamos caso ocorresse falha no grupo motopropulsor e a altura no ponto Z será maior do que 10,7m. Neste caso o comprimento de decolagem que, para um determinado peso da aeronave, deverá ser de 115% da distância necessária para a aeronave atingir os 10,7m, porém, nem todo esse comprimento precisará ser com o pavimento resistente, isso por que a técnica de pilotagem não tem uma variação tão expressiva a ponto de que se corra toda a distância da pista e não se decole o necessário é que toda essa distância seja livre de obstáculos, esta área é denominada “*Clearway*” (figura 7) ou “Prolongamento Desimpedido”.

Como se viu, para o dimensionamento da pista deve-se ter como base as distâncias de aceleração e parada e a de decolagem com falha em um motor, Podem ser utilizadas estas duas informações e balanceá-las em um gráfico, onde o encontro de duas informações remeterá ao comprimento balanceado da pista.

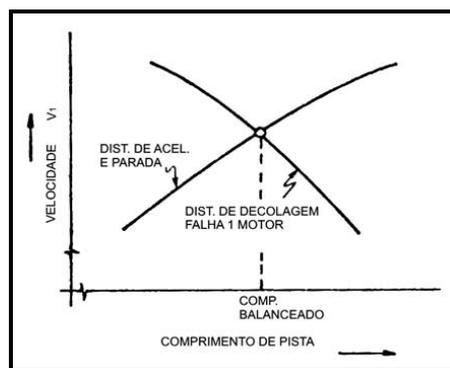


Figura 9 – Comprimento de Pista Balanceado
Fonte: Goldner, Lenise Grando; Santos, Juliana Vieira dos; Junior, Valmir Cominara (2009, p. 40)

Assim, conclui-se que com todos os motores funcionando, o comprimento de pista de decolagem é o maior entre o comprimento balanceado da pista e 115% da distância de decolagem, sabendo que a corrida de decolagem é a

maior entre a distância para se atingir a VLOF, com falha em V1 e 115% para atingir a VLOF sem falha.

b. No pouso, a pista deve ter um comprimento necessário para atender diferentes técnicas de pouso, aproximações defeituosas e arremetidas em caso de pane.

Sabe-se que para pouso, o avião cruza a cabeceira da pista com 130% da velocidade de estol, logo $1,3V_s$, e passa a uma altura de 15m. Considerando estes fatores, as normas impõem que o comprimento de pista para pouso é tal que a aeronave pouse e pare com 60% do comprimento de pista disponível para pouso.

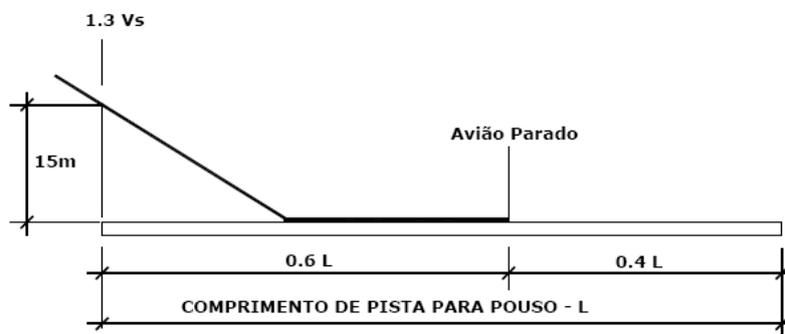


Figura 10 – Comprimento de Pista Balanceado

Fonte: Goldner, Lenise Grando; Santos, Juliana Vieira dos; Junior, Valmir Cominara (2009, p. 41)

2. Condições locais;

Demonstrou-se no item anterior que os regulamentos locais influenciam no comprimento da pista, porém, certas condições locais do sitio aeroportuário também o influenciam, tais como:

- a. Temperatura;
- b. Ventos de Superfície;
- c. Declividade Longitudinal da Pista;
- d. Altitude do Aeródromo;

Essas condições afetam o rendimento da aeronave na decolagem e no pouso. Devido à diferença de temperatura e altitude local a pressão é alterada. Com a pressão sendo alterada o ar fica mais ou menos denso modificando o valor do vetor de sustentação da aeronave, além disso, considerando baixa densidade do ar os motores a pistão irão ter menor rendimento já que a quantidade de oxigênio disponível para a combustão da mistura é menor, e ao mesmo tempo, a hélice perde eficácia com a diminuição da densidade do ar.

Por estes motivos, elas aumentam o “Comprimento Básico de Pista” que é o comprimento de pista necessário para a aeronave decolar e pousar em condições padrões ISA (ICAO Standard Atmosphere), ou seja, condições com o aeródromo ao nível do mar, declividade nula, temperatura de 15°C, pressão de 1013,5Hpa, vento nulo, peso da aeronave igual ao peso máximo de decolagem e flapes na posição ótima.

Conhecido o comprimento básico de pista para a aeronave é necessário relacionar este com a envergadura da aeronave e com a distância entre os bordos externos do trem de pouso principal para obter o código de referência da International Civil Aviation Organization que é um código alfanumérico determinado para o aeródromo para fins de planejamento, com base nas características físicas e operacionais da aeronave crítica para ele estabelecida, conforme mostra a Tabela 1.

Elemento de Classificação 1		Elemento de Classificação 2		
Código Numérico	Comprimento básico de pista para Aeronave	Código de Letra	Envergadura da aeronave	Distância entre os bordos externos do trem de pouso principal
1	menos de 800m	A	menos de 15m	menos de 4,5m
2	de 800 a 1.200m (não incluso)	B	de 15m a 24m (não incluso)	de 4,5m a 6m (não incluso)
3	de 1.200 a 1.800m (não incluso)	C	de 24m a 36m (não incluso)	de 6m a 9m (não incluso)
4	acima de 1.800m	D	de 36m a 52m (não incluso)	de 9m a 14m (não incluso)
		E	de 52m a 65m (não incluso)	de 9m a 14m (não incluso)
		F	de 65m a 80m (não incluso)	de 14m a 16m (não incluso)

Tabela 1 – Código de Referência para Aeródromos
Fonte: Anexo 14, Volume 1 (ICAO, p. 6º)

A partir deste código de referência, estimasse a largura da pista de pouso e decolagem, conforme tabela 2.

Numero Código	Letra do Código					
	A	B	C	D	E	F
1*	18m	18m	23m	-	-	-
2*	23m	23m	30m	-	-	-

3	30m	30m	30m	45m	-	-
4	-	-	45m	45m	45m	60m

Tabela 2 – Largura da Pista de Pouso e Decolagem
Fonte: RBAC 154 (ANAC, 2009).

* A largura de uma pista de aproximação de precisão não deve ser inferior a 30 m quando o número de código for 1 ou 2.

3. Desempenho da aeronave;

Além de regulamentos e condições locais, o desempenho da aeronave, que operará no aeroporto projetado, também influencia no dimensionamento do comprimento da pista. Isto porque as relações entre a capacidade de aceleração, capacidade de alçar voo e a capacidade de frenagem diferem de avião para avião. Por isso, necessita-se do conhecimento das características físicas de cada aeronave que irá operar no aeródromo projetado. Essas características são as dimensões, sua área de influência e os diversos tipos de composição do peso que podem ser extraídas nos Manuais de Operação das aeronaves.

➤ Cálculo do comprimento de pista:

Para o correto dimensionamento no comprimento real da pista devem-se aplicar algumas correções no comprimento básico, como: temperatura, declividade e altitude do local. A ICAO determina o valor destas correções, que são:

a. Correção de Altitude (Ca): O comprimento de pista de decolagem deverá sofrer um aumento de 7% para cada 300m de elevação.

$$C_a = \frac{\text{Altitude do Aeroporto}}{300} \times 0,07 + 1$$

Considerar altitude do aeroporto em metros.

b. Correção de temperatura (Ct): O comprimento de pista de decolagem deverá ser aumentado de 1% para cada grau Centigrado que a temperatura de referência (Tr) ultrapassar a temperatura padrão (Tp) na altitude do aeródromo em °C.

$$C_t = 1 + (T_r - T_p) \times 0,01$$

$$T_p = 15 - 0,0066H$$

Considerar H=altitude do local em metros

c. Correção de declividade (Cd): Acrescer no comprimento de pista de decolagem 10% para cada 1% de declividade longitudinal da pista.

$$Cd = 1 + (\text{declividade}) \times 0,10$$

Assim, tem-se que o comprimento real da pista será:

$$L_{real} = l_{bp} \times C_a \times C_t \times C_d$$

Onde l_{bp} é o comprimento básico de pista. Ressalte-se que se a soma entre as correções de altitude e temperatura resultarem num valor maior do que 35%, o estudo geométrico da pista deverá receber um estudo específico.

4.3. Configuração da Pista:

Não é somente o comprimento da pista que deve ser levado em conta no projeto de um aeródromo, mas também a sua localização, pois a operação de pouso e decolagem das aeronaves só será feita com ventos de proa, devido à aerodinâmica das asas. Por isso é necessário fazer o estudo da direção predominante do vento na região, localizando-a de tal forma que em 95% do tempo o azimute do vento seja o mesmo da pista, ou que a componente de vento de traves seja menor ou igual a:

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

Tabela 3 – Componente de Vento de Través
Fonte: Goldner, Lenise Grando (2009, p. 52)

Como regra geral a pista principal de um aeroporto deve ser orientada na direção dos ventos predominantes, pois uma aeronave somente poderá operar numa pista enquanto a componente do vento perpendicular à direção do deslocamento não for excessiva. Sabe-se que o vento cruzado máximo admissível depende não somente do peso da aeronave, como também da configuração de suas asas e da potência do seu motor, entre outros fatores.

O procedimento a ser adotado pelo piloto, no caso de vento atravessado é a correção de sua trajetória a ser seguida, conforme demonstra a figura 11, essa correção chama-se “*proa de caranguejamento*” isto porque a aeronave se move para frente, porem seu nariz não aponta para o eixo da pista e sim para o lado de onde vem o vento.

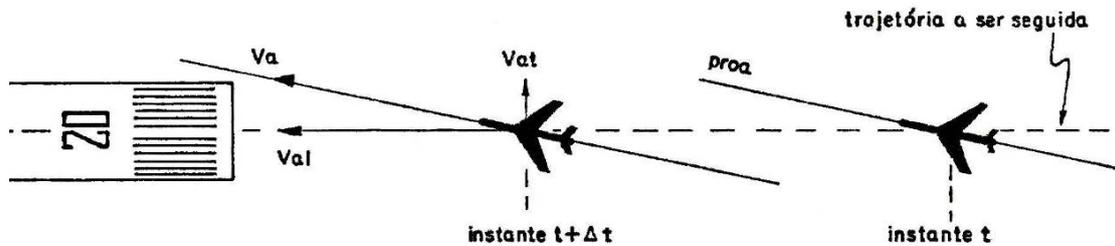


Figura 11 – Efeitos do vento na aproximação e pouso
 Fonte: Goldner, Lenise Grandio; Santos, Juliana Vieira dos; Junior, Valmir Cominara (2009, p. 54)

Se caso, o piloto não utilizar esta técnica e manter, mesmo com vento de través, a trajetória no prolongamento do eixo da pista, ele se desajustará em uma final curta para o pouso, conforme mostra a figura 12.

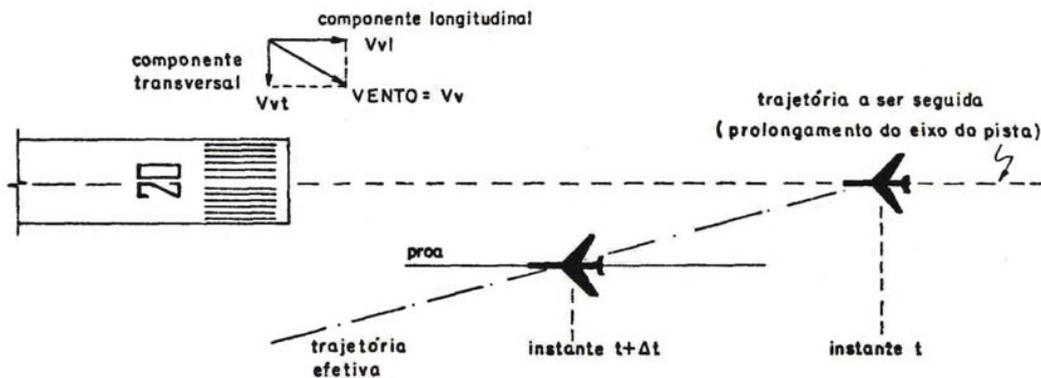


Figura 12 – Efeito do vento se não houver correção
 Fonte: Goldner, Lenise Grandio; Santos, Juliana Vieira dos; Junior, Valmir Cominara (2009, p. 55)

Então, para a escolha correta da orientação da pista, deve-se seguir o seguinte roteiro:

- a. Obtenção de dados, conforme orientações da ICAO;
- b. Análise e agrupamento dos dados por direção e velocidade;
- c. Marcação das porcentagens de vento na Rosa do Ventos (Figura 13);

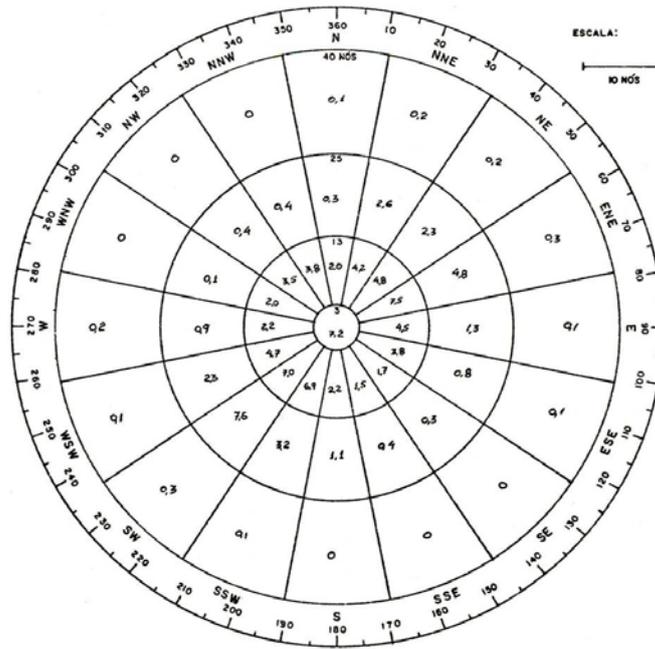


Figura 13 – Anemograma
 Fonte: Goldner, Lenise Grando; Santos, Juliana Vieira dos; Junior, Valmir Cominara (2009, p. 56)

- d. Traça-se num papel transparente 3 retas paralelas equidistantes, na mesma escala da Rosa dos Ventos (Figura 14);
- e. Coloca-se o papel transparente sobre a Rosa dos Ventos de forma que a linha paralela mediana passe pelo seu centro (Figura 14);

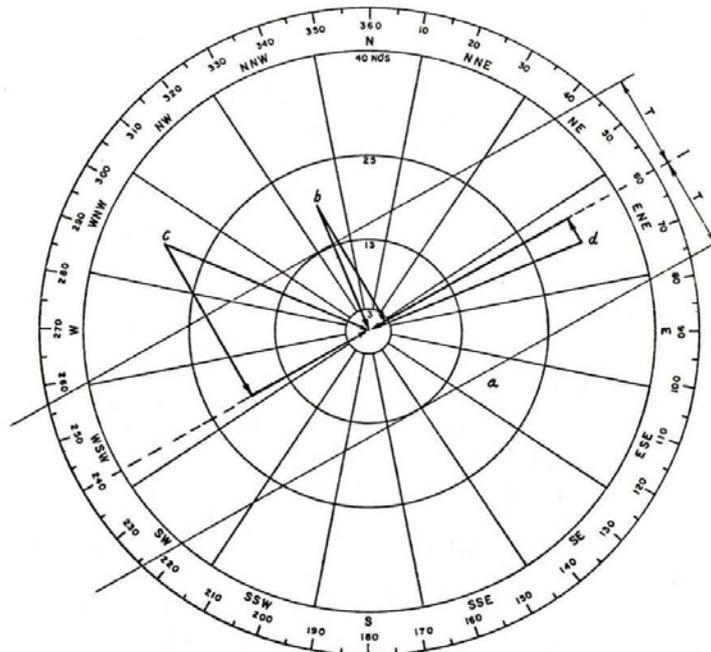


Figura 14 – Anemograma com as três retas equidistantes
 Fonte: Goldner, Lenise Grando; Santos, Juliana Vieira dos; Junior, Valmir Cominara (2009, p. 57)

- f. Observar, girando o papel transparente, a direção para qual a soma das porcentagens fora das linhas externas corresponda a um mínimo;
- g. Ler a orientação da pista indicada pela linha central do papel transparente (Figura 15);

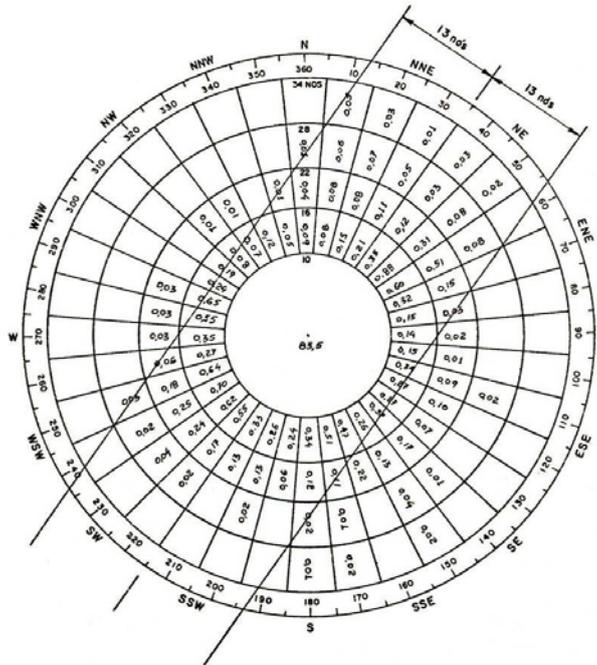


Figura 15 – Anemograma com a escolha da direção da pista
 Fonte: Goldner, Lenise Grando; Santos, Juliana Vieira dos; Junior, Valmir Cominara (2009, p. 57)

- h. Ajustar a orientação encontrada à declinação magnética existente no local, a fim de se obter o rumo correto da pista.

4.4. Aplicação Prática para a operação do Airbus A380 no Aeroporto Salgado Filho de Porto Alegre:

➤ CARACTERÍSTICAS DA AERONAVE AIRBUS A380-800:

- a. Envergadura: 79,80m
- b. Comprimento: 72,75m
- c. Altura Máxima: 24,08
- d. Bitola: 12,456m
- e. Base: 31,882,

- f. Raio de Giro Mínimo: 32,66m
- g. Comprimento Básico de Pista para a Aeronave: 2.800m
- h. Distância entre os bordos externos do trem de pouso principal: 14,336

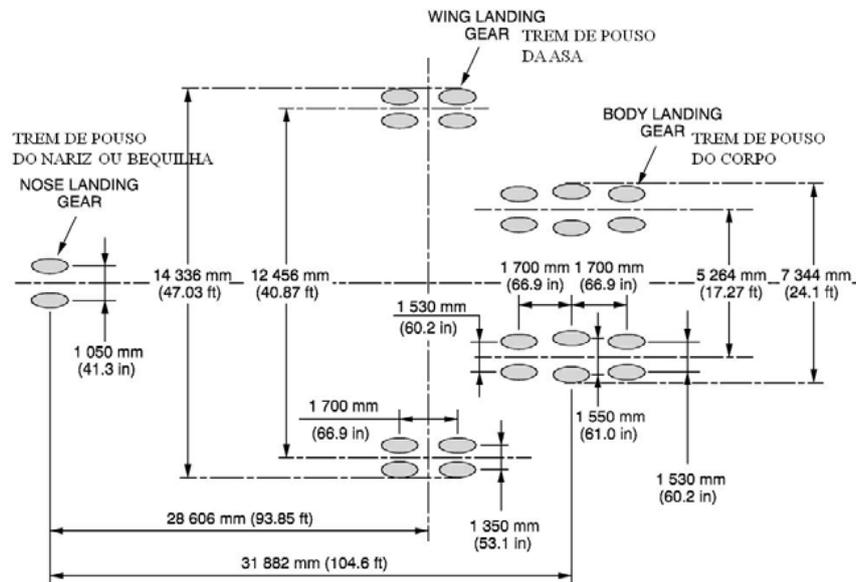


Figura 16 – Esquema do Trem de Pouso do Airbus A380
 Fonte: Manual de Operações do Airbus A380

Peso Máximo de Rampa	562t
Peso Máximo de Decolagem	560t
Peso Máximo de Pouso	386t
Peso Máximo Zero Combustível	361 t
Capacidade Máxima de Combustível	310 m ³
Peso Operacional Vazio	276,8 t
Carga Paga	66,4 t

Tabela 4 – Composição de Peso do Airbus A380
 Fonte: Manual de Operações do Airbus A380

Considerando o código de classificação da ICAO, constante na tabela 1, temos que a aeronave Airbus A380 se enquadra no Elemento de Classificação 1 posição 4 e pelo Elemento de Classificação 2 pela letra F, logo a aeronave pode ser enquadrada na classificação 4F, portanto todo o projeto geométrico deverá seguir esta classificação.

➤ CARACTERÍSTICAS DO AEROPORTO SALGADO FILHO EM 2010:

Hoje, o aeroporto Salgado Filho da cidade de Porto Alegre dispõe de uma pista com duas cabeceiras em funcionamento a 11 e a 29, com as seguintes características:

Elevação: 11ft

TR: 30,9°C

Comprimento Pista: 2.280m

Largura da Pista: 42m

Declividade Efetiva: 0,2%



Figura 17 – Imagem de Satélite do Aeroporto Salgado Filho
Fonte: Google Earth (2010)

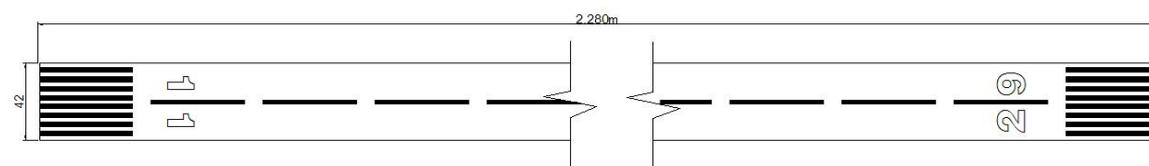


Figura 18 – Representação Esquemática da Pista
Fonte: O Autor (2010)

➤ CARACTERÍSTICAS DO AEROPORTO SALGADO FILHO PARA OPERAÇÃO DA AERONAVE AIRBUS A380:

Seguindo as classificações da ICAO e considerando a aeronave enquadrada na classificação 4F, temos que a declividade transversal da pista não deve exceder a 1,5% (RBAC 154.201); a largura da pista não poderá ser inferior a 60m (tabela 2); acostamento deverá ter 7,5m para cada lado da pista (RBAC 154.203).

Além da largura, é necessário calcular o comprimento real da pista, considerando que o comprimento básico para esta aeronave é de 2.800 m, de acordo com o ábaco constante no manual de operações da aeronave e com e com o peso máximo estrutural de decolagem de 560 t. Devem ser feitas as correções pertinentes ao local, que levará em conta as seguintes correções: temperatura, altitude e declividade.

a. Correção de Altitude (Ca):

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

$$Ca = \frac{3,00}{300} \times 0,07 + 1$$

$$Ca = 1,0007$$

b. Correção de temperatura (Ct):

$$Ct = 1 + (Tr - Tp) \times 0,01$$

$$Ct = 1 + (30,9 - 14,9802) \times 0,01$$

$$Ct = 1,159198$$

$$Tp = 15 - 0,0066H$$

$$Tp = 15 - 0,0066(3,00)$$

$$Tp = 14,9802$$

c. Correção de declividade (Cd):

$$Cd = 1 + (\text{declividade}) \times 0,10$$

$$Cd = 1 + (0,002) \times 0,10$$

$$Cd = 1,0002$$

Assim, teremos que o comprimento real da pista será:

$$L_{real} = l_{bp} \times Ca \times Ct \times Cd$$

$$L_{real} = 2.800 \times 1,0007 \times 1,159198 \times 1,0002$$

$$L_{real} = 3.248,68m \approx 3.250m$$

Logo, para que a aeronave A380 opere no aeroporto Salgado Filho em Porto Alegre, além de obras como reforço na estrutura do pavimento, readequações nas pistas de taxiway's, redimensionamento da área de pátio das aeronaves e a revisão dos terminais de passageiros, será necessário o alargamento da pista principal de pouso e decolagem de 42m para 60m bem como a ampliação em seu comprimento que passa de 2.280m para 3.250m. Se caso este padrão de aeronave vier a operar no sitio aeroportuário Salgado

Filho, também deverá ser feito um zoneamento de ruído e impacto nas vizinhanças do aeródromo.

Assim, a proposta a ser feita é que o aeroporto de Porto Alegre passa a ter as seguintes características:

Elevação: 11ft

TR: 30,9°C

Comprimento Pista: 3.250m

Largura da Pista: 60m

Declividade Efetiva: 0,2%

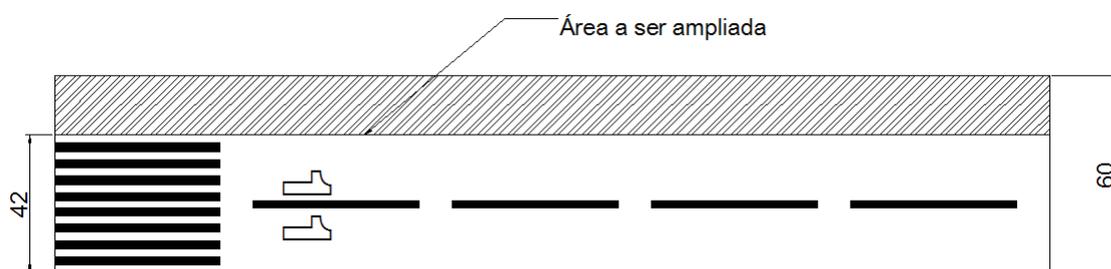


Figura 19 – Representação Esquemática da Pista Proposta
Fonte: O Autor (2010)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, pode-se perceber que o bom entendimento, por parte do engenheiro civil, das padronizações e técnicas aeronáuticas são de suma importância no projeto e no planejamento de aeródromos, visto que a necessidade do conhecimento da especificidade e particularidade deste projeto resultam no êxito na execução da construção da pista.

Além disso, nota-se que para a execução da proposta de ampliação da pista para operação do Airbus A380 no Aeroporto Salgado Filho em Porto Alegre resulta em obras vultosas e de custo elevado, isto porque, além da ampliação da pista principal de pouso e decolagem, seria necessário o redimensionamento das camadas estruturais do pavimento e adequações nas taxiway's, pátios de estacionamento e terminais embarque e desembarque.

Por se tratar de obras de alta complexidade com riscos eminentes na operação de aeronaves, cabe ao profissional da engenharia, o conhecimento dos riscos e padronizações na operação da aeronave, para o sucesso da construção do aeródromo, tal conhecimento deve-se estender desde seu planejamento e projeto até o responsável pela execução da obra.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

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

WELLS, Alexander T; YOUNG, Seth B. **Airport Planning & Management**. 5 ed. Estados Unidos: McGraw-Hill Book Company, 2004. 593 p.

KAZDA, Antonín; CAVES, Robert E. **Airport Design and Operation**. 2 ed. Amsterdam: Elsevier, 2007. 539 p.

COUTINHO, Pedro. **Planejamento de Aeroportos**. Rio de Janeiro [s.n.], 1965. 111 p.

ASHFORD, Norman; WRIGHT, Paul H. **Airport Engineering**. 2. ed. Canadá: John Wiley & Sons, Inc, 1984. 433 p.

JUNIOR, Plínio de Oliveira Lima. **Regulamentos de Tráfego Aéreo**. 33. ed. São Paulo: ASA Edições e Artes Gráficas, 2007. 232 p.

GOLDNER, Lenise Grando; SANTOS, Juliana Vieira dos; JUNIOR, Valmir Cominara. **Apostila de Aeroportos**. 2010. 213p. Programa de Educação Tutorial – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

FORTES, Rita Moura. **Dimensionamento do Comprimento da Pista de Aeroportos**. 2007. Disponível em: <<http://meusite.mackenzie.com.br/rmfortes/aeroportos/Dimensionamento%20do%20Comprimento%20da%20Pista.pdf>>. Acesso em novembro 2010.

SAINTIVE, Newton Soler. **Teoria de Voo**. 4. ed. Brasil: Editora Asa. 2006. 204p.

JUNIOR, Rubens Nobrega; FORTES, Rita Moura. **Proposta para adaptação do Aeroporto Internacional de Guarulhos para operar o A380-800**. 2008. 16p. CONINFRA — Congresso de infra-estrutura de transportes, São Paulo, 2008.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **AC 150/5325-4**: Runway Length Requirements for airport design. Estados Unidos, 2005. 42 p.

AGENCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **RBAC n.º 154**: Projeto de Aeródromos. Brasil, 2009. 247 p.

Anex 14 - Volume I Aerodrome Design and Operations. 3ed. Estados Unidos, 1999. 365 p.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL. Biblioteca Central Ir. José Otão. **Modelo de Referências Elaborado pela Biblioteca Central Irmão José Otão**. 2008. Disponível em: <<http://www3.pucrs.br/portal/page/portal/biblioteca/Capa/BCEPesquisa/BCEPesquisaModelos>>. Acesso em: 23 de setembro de 2010 às 11h.

AIRBUS S.A.; **Airplane A380 Characteristics for Airport Planning**. Disponível em: <<http://www.airbus.com/en/aircraftfamilies/a380/a380/specifications/>>. Acesso em: novembro de 2010.

AIS WEB; **ROTAER Brasil, Manual Auxiliar de Rotas Aéreas**. Disponível em: <http://www.aisweb.aer.mil.br/aisweb_files/indices/AIPBRASIL/aip_nac_ad2.pdf>. Acesso em novembro 2010.