

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Mikhail Said de Castro

Desenvolvimento de Aplicativo para Análise Automática de
Violações ao Plano Básico de Zona de Proteção de
Aeródromos

Trabalho de Graduação
2012

Civil

Mikhail Said de Castro

Desenvolvimento de Aplicativo para Análise Automática de Violações ao Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromo

Orientador
Prof. Dr. Carlos Muller (ITA)

Engenharia Civil-Aeronáutica

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Divisão de Informação e Documentação

Castro, Mikhail S.

Desenvolvimento de Aplicativo para Análise Automática de Violações ao Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromos/ Mikhail Said de Castro.

São José dos Campos, 2012.

68f.

Trabalho de Graduação – Engenharia Civil-Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2012.

Orientadores: Prof. Dr. Carlos Muller

1. Infraestrutura Aeroportuária 2. Zonas de Proteção I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CASTRO, Mikhail S. **Desenvolvimento de Aplicativo para Análise Automática de Violações ao Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromos**. 2012. 68f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Mikhail Said de Castro

TÍTULO DO TRABALHO: Desenvolvimento de Aplicativo para Análise Automática de Violações ao Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromos

TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2012

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.



Mikhail Said de Castro

Rua Helena, 102, ap62 – Vila Olímpia

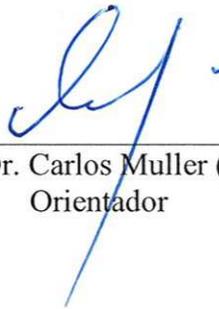
CEP 04552-050 – São Paulo - SP

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA ANÁLISE AUTOMÁTICA DE VIOLAÇÕES AO PLANO BÁSICO DE ZONA DE PROTEÇÃO DE AERÓDROMOS

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



Mikhail Said de Castro
Autor



Prof. Dr. Carlos Muller (ITA)
Orientador



Prof. Dr. Eliseu Lucena Neto (ITA)
Coordenador do Curso de Engenharia Civil/Aeronáutica

São José dos Campos, 27 de novembro de 2012

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por todo o apoio que me deram ao longo dos cinco anos de curso, aos meus amigos pelos momentos de descontração, aos meus professores, ao meu orientador pela paciência e a Deus.

RESUMO

Os aeródromos brasileiros possuem uma série de normas de segurança que visam a proteção dos passageiros, pessoas que trabalham nos aeroportos e que moram nas vizinhanças dos aeroportos.. O Plano Básico de Zona de Proteção é um exemplo. Ele consiste de superfícies imaginárias as quais não podem ser violadas por nenhum obstáculo. Detectar se um determinado obstáculo está infringindo as zonas de proteção é uma tarefa trabalhosa se feita a mão. Com isso, este trabalho visa o desenvolvimento de um aplicativo que automatize esse processo, evitando erros e economizando tempo. O aplicativo foi desenvolvido com o *software* Delphi®, que utiliza linguagem Pascal orientada a objetos. Foram contempladas as superfícies de segurança usuais, mais as zonas livres de obstáculo e as superfícies de proteção dos auxílios de navegação.

ABSTRACT

The Brazilian aerodromes have safety rules conceived to protect passengers, people who works at airports and who lives at airport's neighborhoods. The Protection Zone Basic Plan is an example. It consists of imaginary surfaces which are not supposed to be violated by pass any obstacle. Detect whether a particular obstacle is violating the protection zones is a laborious task if done by hand. Thus, this study aims to develop an application that automates this process, avoiding mistakes and saving time. The application was developed with the software Delphi®, which uses Pascal language. It covered the usual areas of security, obstacle-free zones and areas for the protection of navigational aids.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tela inicial do programa	15
Figura 2 - Tela de dados da pista.....	16
Figura 3 - Janela de com coordenadas UTM.....	17
Figura 4 - Menu salvar e abrir	18
Figura 5- Área para se adicionar pontos internos	18
Figura 6– Janela para entrada de obstáculos	19
Figura 7 - Tela dos auxílios de navegação	20
Figura 8 – Janela com resultados.....	20
Figura 9– Planta.....	22
Figura 10- Exemplo de fuso (fonte: www.carto.eng.uerj.br)	24
Figura 11- Translação.....	25
Figura 12- Rotação	26
Figura 13 -Triângulo para definição do perfil	27
Figura 14- Superfície de aproximação 1.....	29
Figura 15 - Superfície de aproximação 2	32
Figura 16- Superfície horizontal interna.....	34
Figura 17- Superfície de transição 1.....	36
Figura 18- Definição do Δy	38
Figura 19-: Superfície de transição 2.....	39
Figura 20- Superfície de decolagem 1	42
Figura 21- Superfície de decolagem 2	44
Figura 22- Superfície cônica.....	46
Figura 23- Superfície de aproximação interna 1	48
Figura 24- Superfície de aproximação interna 2	49
Figura 25- Superfície de Pouso Interrompido 1	50
Figura 26- Superfície de Pouso Interrompido 2	52
Figura 27- Superfície do auxilio DME.....	54
Figura 28- Superfície do auxilio NDB	56
Figura 29- Superfície do auxilio VOR	58
Figura 30 - Superfície ILS - Localizador.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Parâmetros das superfícies de segurança (fonte: Portaria 256).....	30
Tabela 2 Parâmetros da superfície de decolagem.....	43
Tabela 3 - Parâmetros das superfícies das zonas livre de obstáculos.....	48
Tabela 4 - Parâmetros das superfícies dos auxílios de navegação	53
Tabela 5 - Diferenças algoritmo – Google Earth.....	61
Tabela 6 - Obstáculos imputados.....	62
Tabela 7 - Tabela de resultados	63

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil

CWY – Zona Desimpedida

D-VOR - Radiofarol Onidirecional em VHF - Doppler;

DME - Equipamento Medidor de Distancias;

GBAS - Sistema de Aumentação dos Sinais de Navegação Baseado no Solo;

IFR - Regras de Voo por Instrumentos;

ILS - Sistema de Aproximação por Instrumentos;

NDB - Radiofarol Não Direcional;

PBZPA - Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromo.

VDB - Transmissor de Dados VHF;

VFR - Regras de Voo Visual;

VHF - Frequência Muito Alta;

VOR - Radiofarol Onidirecional em VHF;

SUMÁRIO

1	OBJETIVOS	13
2	INTRODUÇÃO	14
3	DESENVOLVIMENTO	15
3.1	Características do programa	15
3.1.1	<i>Inputs</i>	15
3.1.2	<i>Outputs</i>	20
3.2	Algoritmos desenvolvidos	23
3.2.1	Criação do sistema de coordenadas	23
3.2.2	Função Perfil	27
3.2.3	Cálculo das margens	28
4	RESULTADOS	61
4.1	Transformação de coordenadas UTM-GEO	61
4.2	Teste – Aeroporto de Mossoró	62
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
	ANEXO A	65

1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é desenvolver um aplicativo que detecte automaticamente se um obstáculo está infringindo alguma superfície do Plano Básico de Proteção de Aeródromo. Este Plano consiste de superfícies imaginárias existentes em aeroportos, pelas quais não pode passar nenhum obstáculo, garantindo a segurança. O programa é um auxílio a projetistas de aeroportos, bem como de edifícios e outros empreendimentos localizados ao redor de aeroportos.

2 INTRODUÇÃO

Com base no planejamento aeroportuário da ANAC, foi definido o Plano Básico de Proteção de Aeródromo. Ele consiste de superfícies limitadoras de obstáculos, ou seja, são superfícies imaginárias pelas quais não pode passar nenhum obstáculo. Essas superfícies limitadoras estão definidas na Portaria 256/GC5, de 13 de maio de 2011. São elas: Superfície de Aproximação, Decolagem, Transição, Horizontal Interna e Cônica. Além delas, para pistas de aproximação de precisão, tem-se: superfície de Pouso Interrompido, Aproximação interna e Transição Interna.

Também há o Plano de Zona de Proteção de auxílios à Navegação Aérea. Elas são superfícies que visam proteger os equipamentos que auxiliam na navegação. Obstáculos na sua proximidade podem prejudicar a integridade dos sinais magnéticos e luminosos trocados entre as aeronaves e esses equipamentos. São eles: DME, VOR, D-VOR, GBAS – VDB, GBAS – Estação de Referência, ILS, - Glide Path, ILS – Localizador, e ILS – Marcador.

Ao se fazer um projeto de um edifício, ou uma modificação em algum Aeroporto, deve-se atentar à essas zonas de Proteção, de maneira que não haja nenhuma infração que vá impedir a obra de ser realizada. Essa verificação feita a mão, toma tempo, além de estar sujeita a erros humanos. Neste trabalho foi desenvolvido um aplicativo que detecta automaticamente se um obstáculo está infringindo alguma dessas superfícies. O programa também fornece qual a altura máxima que ele pode ter. Esse processo economiza tempo e está sujeito a menos erro humano, uma vez que é necessário apenas colocar as características das pistas, e dos obstáculos. Também há um planos específicos de zona de proteção, que dependem da região, mas eles não foram contemplados neste trabalho. Para desenvolvimento do programa foi utilizado o software Delphi®, que usa linguagem Pascal orientada a objetos.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Características do programa

O programa apresenta seis janelas, uma janela inicial, duas de *inputs*, duas de *outputs* e uma de ajuda. A tela inicial, mostrada na Figura 1, contém um menu para acesso às demais janelas.

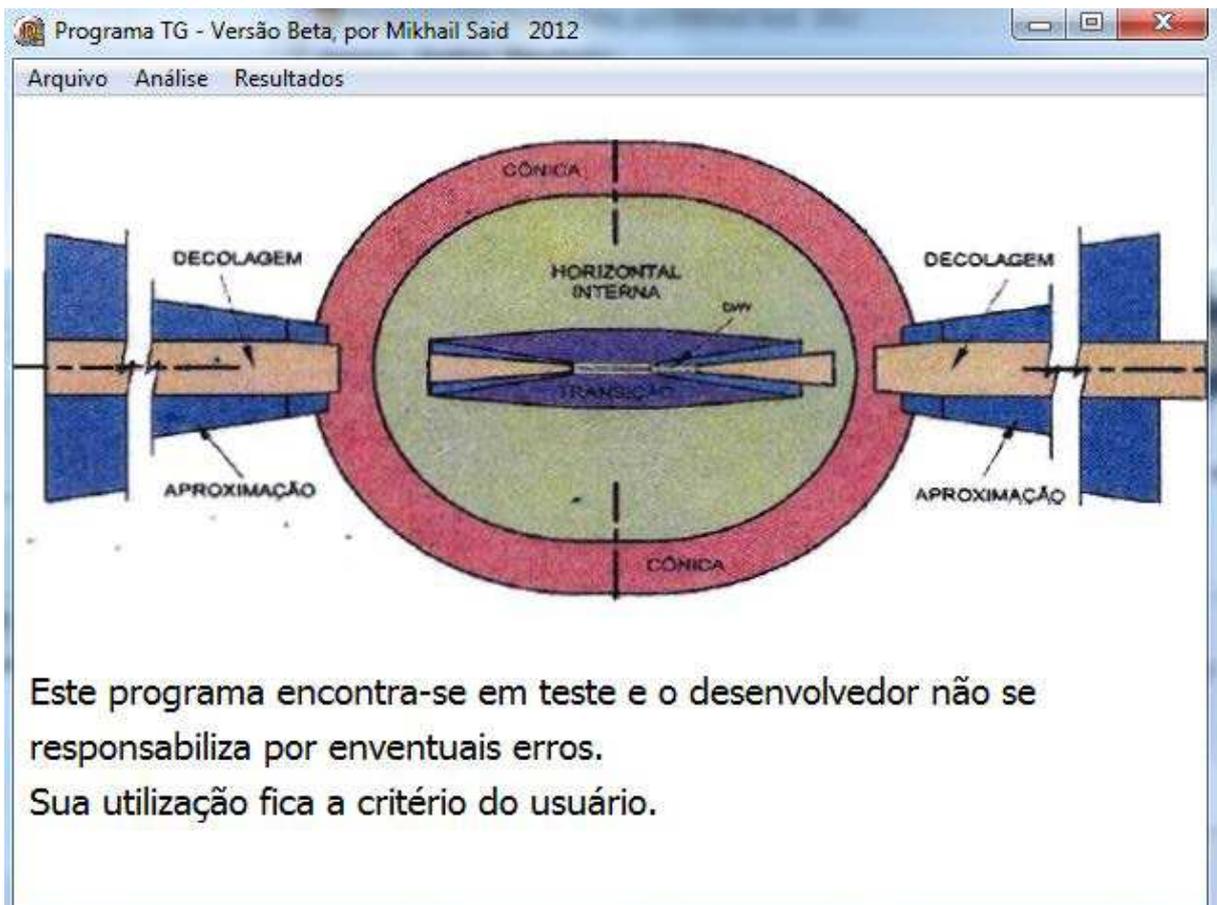


Figura 1 – Tela inicial do programa

3.1.1 *Inputs*

Clicando-se em arquivo, tem-se acesso para a área de *inputs*. São três opções: dados da pista, auxílios de navegação e obstáculos. A Figura 2 mostra a janela na qual são inseridos os dados da pista.

Identificação do aeródromo: Aeroporto de Mossoró - SBMS **Número-Código:** 3 **Letra-código:** B **Elevação (m):** 23,1648

Cabeceira de pouso 1 Identificação: 23 Hemisfério (N/S): S

Latitude			Longitude			Elevação (m)	Operação
G	M	S	G	M	S		
S	5	11 38	W	37	21 37	23,16	IFR (não precis)

Cabeceira de pouso 2 Identificação: 05

Latitude			Longitude			Elevação (m)	Operação
G	M	S	G	M	S		
S	5	12 37	W	37	22 4	18,29	IFR (não precis)

Cabeceira de decolagem 1

Latitude			Longitude			TORA (m)	CWY (m)
G	M	S	G	M	S		
S	5	11 38	W	37	21 37	2000	0

Cabeceira de decolagem 2

Latitude			Longitude			TORA (m)	CWY (m)
G	M	S	G	M	S		
S	5	12 37	W	37	22 04	2000	0

Pontos internos

Distância (m)	Elevação (m)
650	21,0312
750	20,1168

Obs.: Utilizar duas casas decimais para os segundos das coordenadas geográficas, para precisão de metros nos cálculos.

Para melhor precisão, recomenda-se utilizar coordenadas UTM

OK

Figura 2 - Tela de dados da pista

Devido ao fato da pista poder ter um tipo de operação em um sentido e outro tipo no sentido oposto, considerou-se que ela possui duas pistas de pouso, com sentidos opostos. No caso da pista de decolagem, o comprimento em um sentido pode ser diferente do outro sentido, portanto também foram consideradas duas pistas de decolagem. Os dados que devem ser imputados nessa janela são os seguintes:

- Identificação do aeródromo: coloca-se o nome do aeroporto.
- Número-código: pode ser 1, 2, 3 ou 4. Essa classificação é referente ao comprimento básico da pista requerido pelas aeronaves que a utilizam.
- Letra-código: A, B, C, D, E OU F; Essa classificação é referente à envergadura das aeronaves que utilizam a pista.
- Elevação: coloca-se a elevação de referência do aeródromo, que é a altitude do ponto mais elevado na área de pouso
- Coordenadas da cabeceira da pista de pouso 1: o usuário deve definir qual será a cabeceira de pouso 1 e colocar suas coordenadas. Recomenda-se utilizar no mínimo 2 casas decimais nos segundos, no caso e coordenadas geográficas.
 - Operação da pista de pouso 1: pode ser VFR, IFR de não precisão, CAT I, CAT II, ou CAT III.
 - Elevação da cabeceira de pouso 1: altitude da cabeceira de pouso 1.
 - Coordenadas da cabeceira da pista de pouso 2: cabeceira de pouso oposta à cabeceira de pouso 1.

- Operação da pista de pouso 2: os mesmos tipos da pista de pouso 1.
- Elevação da cabeceira de pouso 2: altitude da cabeceira de pouso 2.
- Coordenadas da cabeceira da pista de decolagem 1: o usuário define a cabeceira de decolagem 1 e coloca as coordenadas.
 - TORA da pista de decolagem 1: essa é a distância disponível para decolagem, não incluindo a *clearway*.
 - *Clearway* da pista de decolagem 1: área livre de obstáculos após a pista de decolagem 1.
 - Coordenadas da cabeceira da pista de decolagem 2: cabeceira de decolagem oposta à cabeceira de decolagem 1.
 - TODA da pista de decolagem 2: mesma definição da pista de decolagem 1.
 - *Clearway* da pista de decolagem 1: mesma definição da pista de decolagem 1.

Existe uma opção no menu da janela para que o usuário escolha que tipo de coordenada ele irá utilizar: geográfica ou UTM. A Figura 3 mostra a tela de dados da pista caso o usuário opte por imputar coordenadas UTM

Figura 3 - Janela de com coordenadas UTM

Tanto faz o tipo de coordenada imputado, mas no caso da geográfica, o programa recomenda que se utilize duas casas decimais para os segundos. A recomendação encontra-se na própria janela de dados da pista. No caso das coordenadas UTM, a precisão será a

quantidades de casas decimais que o usuário imputar. Outra opção no menu é de salvar os dados, no qual é gerado um arquivo com extensão *.pta*. Assim, na próxima vez em que o programa for utilizado, o usuário pode recuperar os dados abrindo este arquivo. Essa opção pode ser vista na Figura 4.

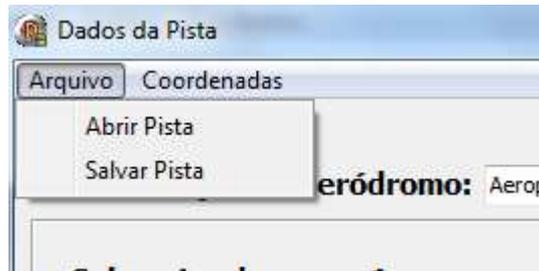


Figura 4 - Menu salvar e abrir

Ainda na janela de dados da pista, há uma opção onde o usuário deve inserir pontos internos à pista, conforme a Figura 5.

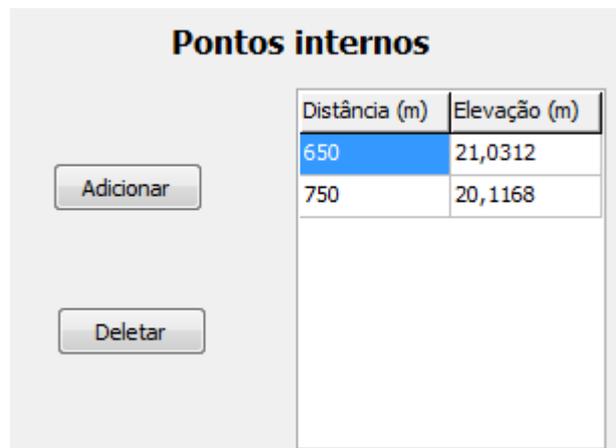


Figura 5- Área para se adicionar pontos internos

Em distância, deve-se inserir a distância horizontal do ponto à cabeceira de pouso 1. Em elevação, insere-se a altitude do ponto. Estes pontos servem para que se trace um perfil da pista. Quanto mais pontos adicionados mais preciso é o perfil calculado.

Voltando-se à tela inicial do programa e clicando-se no menu, tem-se acesso à janela de obstáculos. Nela, inserem-se em uma tabela os dados de todos os obstáculos existentes nas vizinhanças do aeródromo, conforme a figura 6.

Obstáculo	Nome	N/S	Graus	Minutos	Segundos	W/L	Graus	Minutos	Segundos	UTM N (m)	UTM E (m)	Fuso	Elevação (m)
1	Edifício	S	5	10	58,22	W	37	21	12,32	9426888,586	682504,255	24	59,14
2	Edifício	S	5	10	54,93	W	37	21	14,25	9426990,107	682446,004	24	62,02
3	Edifício	S	5	10	51,48	W	37	21	18,97	9427097,995	682301,538	24	57,72
4	Edifício	S	5	11	10,13	W	37	21	25,98	9426523,205	682084,470	24	48,11
5	Edifício	S	5	12	52,83	W	37	22	18,92	9423373,645	680444,133	24	30,58
6	Edifício	S	5	14	37,51	W	37	22	34,12	9420158,724	679967,741	24	48,43

Obs.: Utilizar duas casas decimais nos segundos para precisão em metros.

Para melhor precisão, recomenda-se utilizar coordenadas UTM

Figura 6– Janela para entrada de obstáculos

Entre os dados que deve ser adicionados estão: nome do obstáculo, coordenadas e elevação, que é altura do topo do obstáculo em relação ao nível do mar. Cada obstáculo adicionado recebe uma numeração, contida na primeira coluna da tabela. Também há a opção para que se escolha o tipo de coordenada, com a mesma recomendação no caso das coordenadas geográficas. Caso o usuário queria salvar os dados, há a opção no menu da janela, a qual irá gerar um arquivo com extensão *.obs*.

A última tela de *input* é dos auxílios de navegação, como mostra a Figura 6. Nela há uma tabela para preenchimento das características dos auxílios. Considerou-se que só existe um auxílio de cada tipo.

Hemisfério (N/S):

Auxílio	Existe?	N/S	Graus	Minutos	Segundos	W/L	Graus	Minutos	Segundos	UTM N (m)	UTM E (m)	Fuso	Elevação (m)	Altura (m)
DME														
NDB														
VOR														
D-VOR														
GBAS - VDB														
GBAS - ER														
ILS - LOC														

-> Se o auxílio existir, coloque X na primeira coluna e preencha as demais. Se não existir, deixe em branco.
-> DME, D-VOR, VDB, GBAS - ER e ILS - Localizador: a elevação é da base da antena.
-> NDB: a elevação é da base da estrutura. Colocar o valor de H (altura da estrutura)
-> VOR: a elevação é da base da torre.
-> D-VOR: a elevação é da base da torre.

OK

Figura 7 - Tela dos auxílios de navegação

3.1.2 Outputs

Após todos os dados terem sido inseridos, o usuário deverá clicar em Análise, no menu da tela inicial. Isso faz com que o programa realize todos os cálculos necessários. Quando todos os cálculos tiverem sido realizados, o programa avisará que a análise foi completada. Com isso a opção de resultados, também no menu, é disponibilizada para o usuário. Dois tipos de resultados são gerados: tabela de resultados e planta. A tabela de resultados é mostrada na Figura 8.

Obstáculo	Nome	Coord. X	Coord. Y	Elevação (m)	SA 23 (m)	SA 05 (m)	SAI 23 (m)	SAI 05 (m)	ST (m)	SH (m)	SC (m)	SD 23 (m)	SD 05 (m)
1	Edifício	-1428,4047	181,581225	59,14	8,6	-	-9	-	-	-	-	-	8,7
2	Edifício	-1496,1405	86,1270919	62,02	10,1	-	-6,1	-	-	-	-	-	10,2
3	Edifício	-1559,1865	-34,282331	57,72	4,5	-	-10,4	-	-	-	-	-	4,6
4	Edifício	-920,66969	-46,290126	48,11	7,7	-	-20	-	-	-	-	-	7,8
5	Edifício	-1027,5335	287,561349	60,17	17,6	-	-7,9	-	-	-	-	-	-
6	Edifício	-1255,3587	216,923022	52,91	5,8	-	-15,2	-	-	-	-	-	5,9
7	Edifício	-1202,8836	-199,48414	55,2	9,1	-	-12,9	-	-	-	-	-	9,3
8	Edifício	-1474,6295	451,770205	93,11	-	-	24,9	-	-	-	-	-	-

Figura 8 – Janela com resultados

As primeiras colunas da tabela contem as características dos obstáculos: numeração, nome, coordenadas x e y e elevação. Depois, cada coluna será equivalente à uma superfície de

segurança. Se a célula possui um valor positivo, o obstáculo estará infringindo essa superfície numa margem com valor igual ao da célula. Se o valor for negativo, o obstáculo estará abaixo da superfície, com uma sobra igual ao valor da célula. Se houver um traço ao invés de um número, isso significa que o obstáculo não está sob tal superfície. Cada coluna dessa possui em seu título uma sigla, que corresponde à superfície à qual ela faz referência. As siglas são as seguintes:

SA: Superfície de Aproximação (ao lado vem a identificação da pista a que se refere).

SH: Superfície Horizontal Interna;

ST: Superfície de Transição;

SC: Superfície Cônica;

SD: Superfície de Decolagem (ao lado vem a identificação da pista a que se refere).

SAi: Superfície de Aproximação Interna (ao lado vem a identificação da pista a que se refere)

SPI: Superfície de Pouso Interrompido (ao lado vem a identificação da pista a que se refere)

SDME: Superfície do auxílio DME;

SVDB: Superfície do auxílio GBAS - VDB;

SVOR: Superfície do auxílio VOR;

SDVOR: Superfície do auxílio D-VOR;

SNDB: Superfície do auxílio NDB;

SGER: Superfície do auxílio GBAS – Estação Referência

SILS-LOC: Superfície do auxílio ILS – Localizados.

Caso o usuário queira ver a planta, uma janela igual à Figura 9 será gerada:

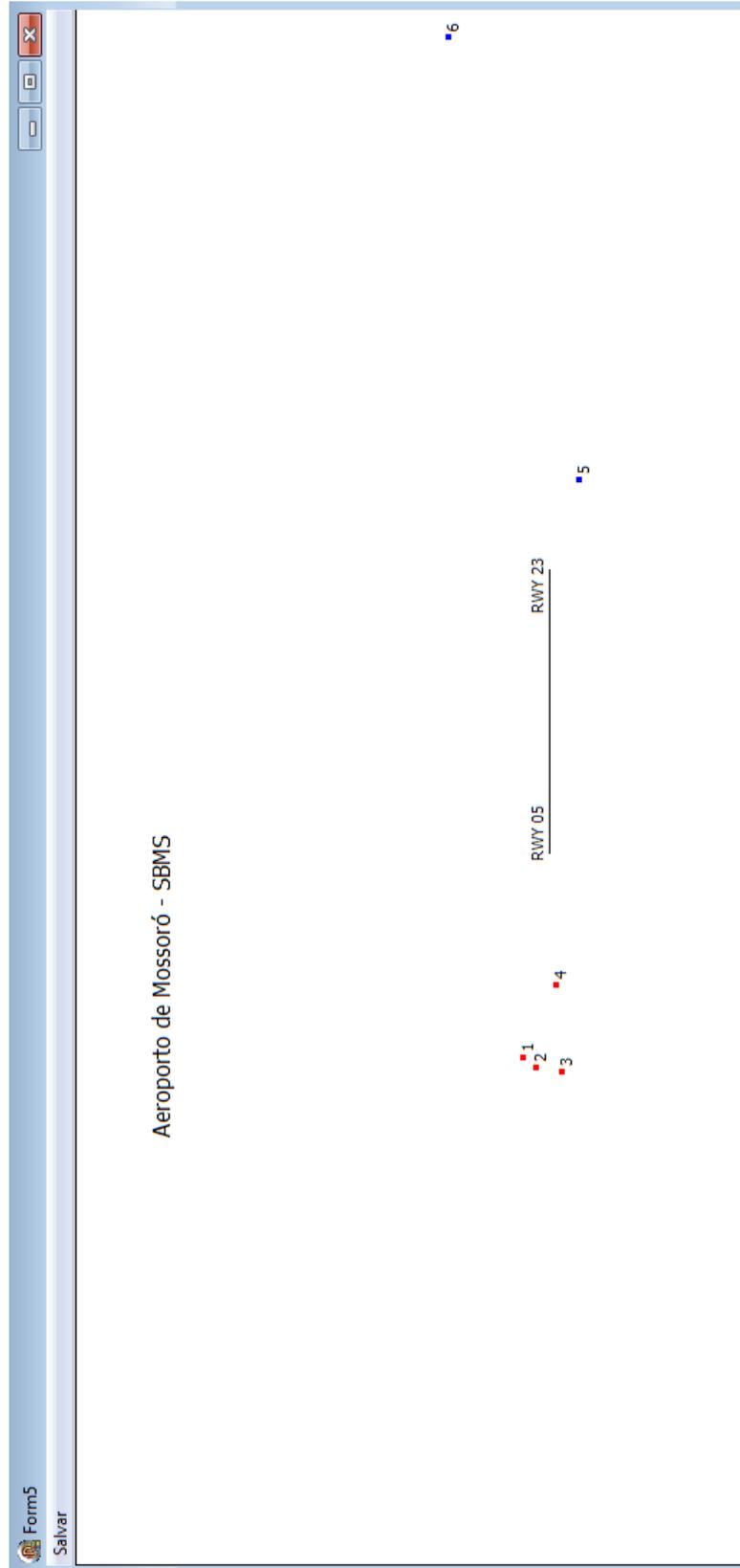


Figura 9- Planta

Os pontos azuis são os obstáculos que não estão infringindo alguma superfície. Já os pontos vermelhos são aqueles obstáculos que estão infringindo alguma superfície.

3.2 Algoritmos desenvolvidos

Uma série de rotinas foram desenvolvidas por meio de algoritmos na construção do programa. Conforme mencionado, utilizou-se da linguagem Pascal para seu desenvolvimento. Primeiramente, o programa guarda na memória todas as informações que foram imputadas sobre a pista, auxílios e obstáculos. Ele faz isso atribuindo a variáveis os valores imputados. No caso dos obstáculos, a quantidade de dados pode variar, pois cabe ao usuário determinar quantos obstáculos existem. Portanto essas informações são guardadas em variáveis do tipo vetor. Cada variável vetor guarda n informações de um tipo, cada uma referente a um obstáculos. Por exemplo, seja “elev” a variável que guarda o valor da elevação dos obstáculos. Então “elev₁” representa a elevação do obstáculo 1, “elev₂” a do obstáculo 2 e assim por diante.

Quando o usuário imputa coordenadas no sistema geográfico, uma rotina faz a transformação para coordenadas UTM, e vice-e-versa. Numa seção posterior será mostrada como funciona o algoritmo por trás dessa rotina.

Quando o usuário clica em Análise no menu da janela principal, após ter inserido todos os dados, o programa executa as seguintes rotinas: criação do sistema de coordenadas, definição do perfil da pista, cálculo das margens e resultados.

3.2.1 Criação do sistema de coordenadas

A primeira rotina de análise é a de criação do sistema de coordenadas que será utilizado pelo programa para os demais cálculos. Ele consiste de um sistema cartesiano, com origem na cabeceira de pouso 1, com eixo x na direção da pista, apontando para a cabeceira de pouso 2, e eixo y perpendicular. O que essa rotina realmente faz é transformar as coordenadas UTM das cabeceiras, pistas e obstáculos em coordenadas xy .

As coordenadas UTM são baseadas na Universal Transversa de Mercator. Nesse sistema de projeção, a Terra foi dividida em 60 fusos de 6° de longitude, numerados a partir

do antimeridiano de Greenwich (meridiano de 180°). Quanto à latitude, os limites do fuso vão de 80° S a 84° N. A Figura 10 contem um exemplo de fuso.

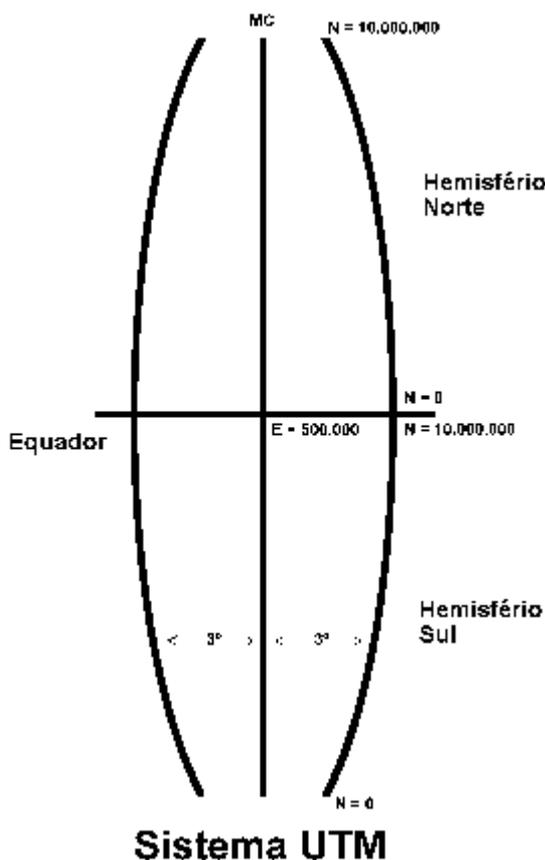


Figura 10- Exemplo de fuso (fonte: www.carto.eng.uerj.br)

Cada fuso funciona como um sistema cartesiano, pois as latitudes e longitudes são medidas por distâncias. O ponto central do fuso é a origem desse sistema, mas suas coordenadas não são nulas. A longitude UTM dele vale 500 km E, crescendo para a direita sentido leste e decrescendo sentido oeste. Um ponto situado na linha do Equador a uma distância de 100 km à direita desse ponto possui longitude UTM igual a 600 km E e um ponto a uma distância de 100 km à esquerda tem longitude UTM igual a 400 km E. Já a latitude desse ponto depende do hemisfério. Para o hemisfério Norte, a latitude dele vale 0 e cresce sentido Norte. Para o hemisfério Sul, a latitude do ponto central vale 10000 km e decresce sentido Sul. Assim, um ponto do hemisfério Norte situado a 1000 km acima do ponto central tem latitude igual a 1000 km N. Já um ponto do hemisfério Sul situado 1000 km abaixo do ponto central tem latitude igual a 9000 km S.

Pelo fato do sistema UTM já ser um sistema cartesiano, a rotina gera as novas coordenadas a partir dele. Portanto, se o usuário inseriu as coordenadas no sistema geográfico, o programa as transforma em coordenadas UTM para que a rotina as utilize. Se o usuário já

inseriu as coordenadas no sistema UTM, o programa já utiliza os valores inseridos. Primeiramente, a rotina realiza uma translação de sistemas, levando a origem do sistema UTM para a origem do sistema que será utilizado pelo programa, que é a cabeceira de pouso 1, como mostra a Figura 11.

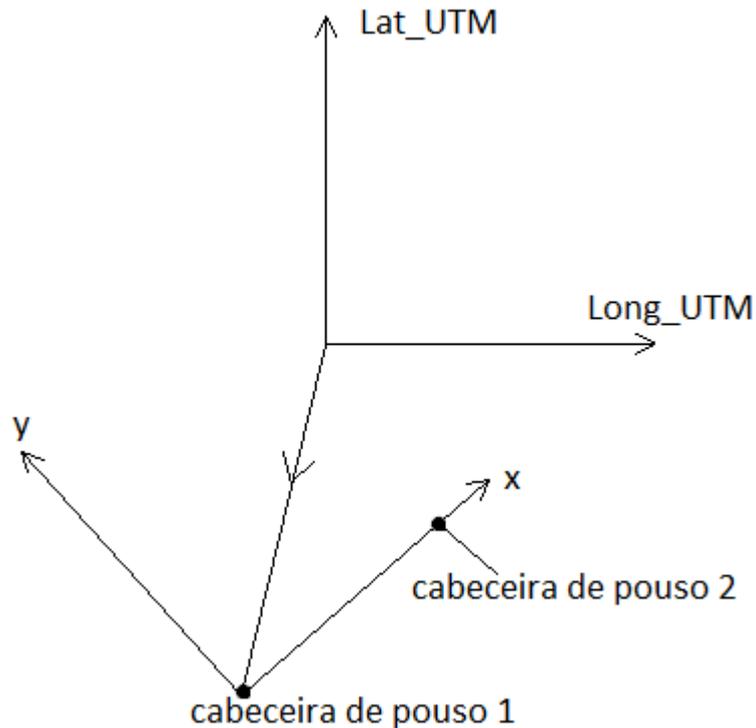


Figura 11- Translação

Seja Lat_UTM e $Long_UTM$ as coordenadas de um ponto qualquer (seja ele um obstáculo, cabeceira ou auxílio de navegação) Lat_UTM_{cabp1} e $Long_UTM_{cabp1}$ as coordenadas da cabeceira de pouso 1 e Lat_UTM_{cabp2} e $Long_UTM_{cabp2}$ as coordenadas da cabeceira de pouso 2, todas no sistema UTM. Como resultado da translação, um novo sistema x' e y' é gerado, e as novas coordenadas são dadas pelas equações 1 e 2:

$$coordx' = Long_UTM - Long_UTM_{cabp1} \quad (1)$$

$$coordy' = Lat_UTM - Lat_UTM_{cabp1} \quad (2)$$

Após a translação, a rotina realiza uma rotação de eixos, para coincidir a abcissa x' que foi gerada com a abcissa x utilizada pelo programa e coincidir a abcissa y' com a abcissa y , conforme a Figura 12.

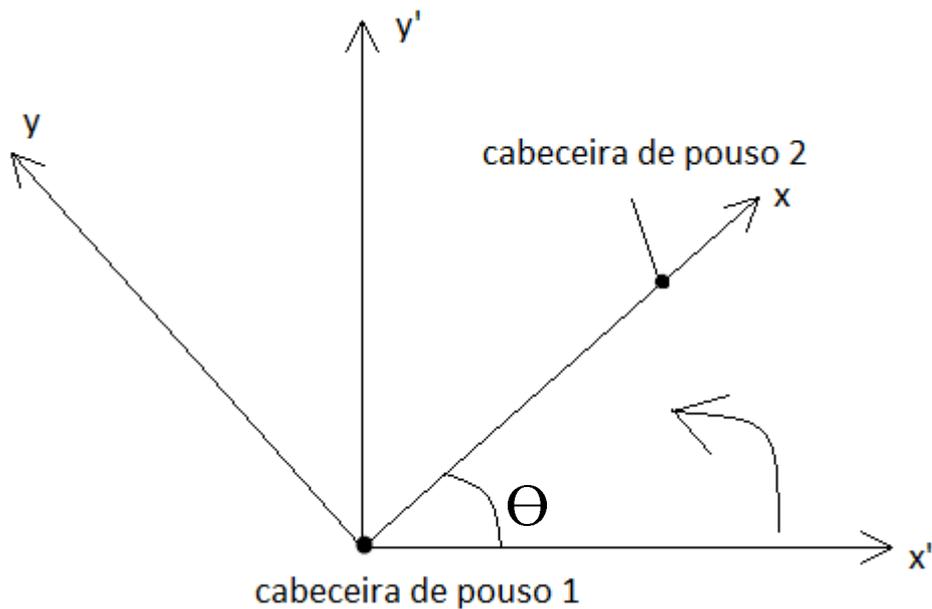


Figura 12- Rotação

Primeiro é necessário obter-se o valor de Θ , que é o ângulo de rotação. Ele representa quanto a pista está rotacionada em relação à linha do Equador. Seu valor é dado pelas equações 3 e 4:

$$\text{sen}\theta = \frac{\text{Lat_UTM}_{cabp2} - \text{Lat_UTM}_{cabp1}}{\text{dist}} \quad (3)$$

$$\text{cos}\theta = \frac{\text{Long_UTM}_{cabp2} - \text{Long_UTM}_{cabp1}}{\text{dist}}, \quad (4)$$

onde dist é a distância entre a cabeceira de pouso 1 e a cabeceira de pouso 2 e vale:

$$\text{dist} = \sqrt{(\text{Long_UTM}_{cabp2} - \text{Long_UTM}_{cabp1})^2 + (\text{Lat_UTM}_{cabp2} - \text{Lat_UTM}_{cabp1})^2}. \quad (5)$$

Com o valor de Θ , realiza-se a rotação e obtém-se as coordenadas finais coordx e coordy , por meio das equações 6 e 7. A rotina repete essas equações para todos os obstáculos, coordenadas das cabeceiras e coordenadas dos auxílios de navegação.

$$\text{coordx} = \text{coordx}' \times \text{cos}\theta + \text{coordy}' \times \text{sen}\theta \quad (6)$$

$$\text{coordy} = -\text{coordx}' \times \text{sen}\theta + \text{coordy}' \times \text{cos}\theta \quad (7)$$

3.2.2 Função Perfil

A função perfil ($\text{perf}(\text{coord}x_i)$) foi construída para se determinar o perfil da pista, ou seja, a elevação de cada ponto ao longo dela. Essa função é chamada por outras rotinas, quando a elevação de determinado ponto é necessário para os cálculos. Ela utiliza como dados de entrada a coordenada x do ponto o qual deseja-se saber a elevação. Ela também utiliza os dados inseridos na seção de pontos internos (elevações de pontos internos da pista e as distâncias deles à cabeceira de pouso 1), na janela de dados da pista. Primeiramente cria-se um vetor que coloca os pontos inseridos em ordem de distância à cabeceira, do mais perto para o mais distante. Depois, de acordo com a coordenada x do ponto que se quer saber a elevação, a função detecta entre quais pontos internos dados ele se encontra e a partir daí calcula o valor da elevação. Os pontos cujas coordenadas x são menores do que a da cabeceira de pouso 1, ou seja, estão fora da pista, possuem elevação igual à dela. Já os pontos cujas coordenadas x são maiores do que a da cabeceira de pouso 2, e que, portanto, também situam-se fora da pista de pouso, possuem elevação igual à dela.

Supondo que um ponto P de coordenada x_p e elevação h_p encontra-se entre os pontos dados A, com elevação h_a e distância à cabeceira de pouso 1 d_a , e B, com altura h_b e distância à cabeceira de pouso 1 d_b , conforme a Figura 13. Tanto A como B são internos à pista.

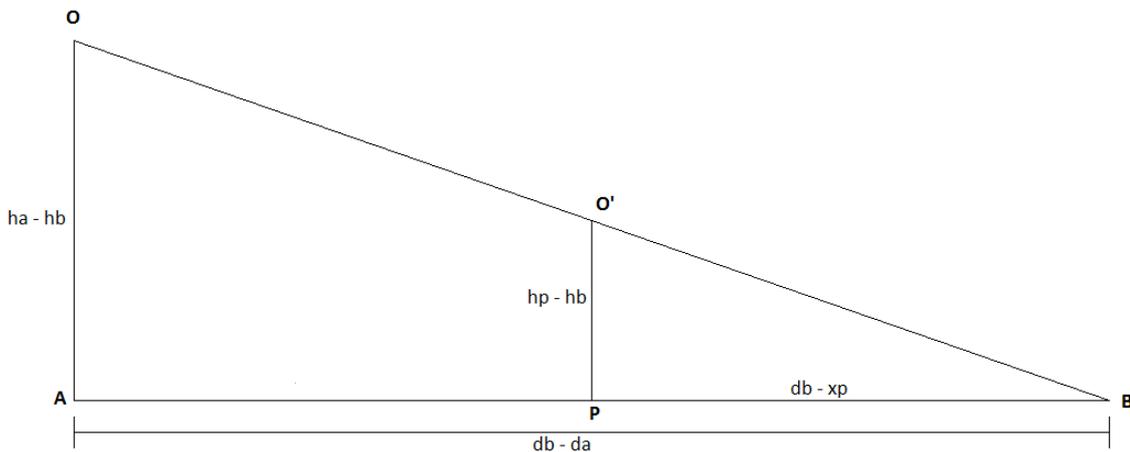


Figura 13 - Triângulo para definição do perfil

Fazendo-se uma semelhança entre os triângulos ABO e PBO', determina-se a elevação h_p do ponto P:

$$\frac{d_b - d_a}{d_b - x_p} = \frac{h_a - h_b}{h_p - h_b} \rightarrow h_b + (h_a - h_b) \times \frac{d_b - x_p}{d_b - d_a} = h_p = \text{perf}(\text{coord}x_i). \quad (8)$$

3.2.3 Cálculo das margens

Uma vez que todas as coordenadas foram transformadas para o sistema adotado pelo programa, este passa a realizar as rotinas de cálculo de margens. Cada superfície de segurança possui uma rotina. Primeiramente, a rotina identifica as características da pista (letra-código, número-código e tipo de operação), e atribui a variáveis os valores dos parâmetros referentes àquelas características. Esses valores estão armazenados no banco de dados. Depois ela determina se o obstáculo encontra-se sobre a superfície. Em caso positivo, ela calcula a margem, ou seja, quanto a altitude do topo do obstáculo está ultrapassando a altitude da superfície. Se o valor da margem for positivo, de fato ele está infringindo a superfície. Se o valor for negativo, há uma sobra. Caso seja detectado que o obstáculo não está sobre a superfície, a rotina termina sem mais nenhum cálculo. O programa vai gerando as rotinas para cada superfície de uma por uma, até que todas tenham sido rodadas. Em cada rotina, todos os obstáculos são testados. A seguir serão mostrados os cálculos para cada uma dessas rotinas. Primeiro são citados quais parâmetros foram utilizados. Depois são mostradas as equações que detectam se o obstáculo encontra-se ou não sobre a superfície. Por último, tem-se as equações que calculam a margem. Algumas dessas superfícies foram divididas em regiões para facilitar a análise. Abaixo encontra-se alguns termos que são citados e seu significado:

$\text{coordx}_{\text{cabp1}}$ = coordenada x da cabeceira de pouso 1.

$\text{coordy}_{\text{cabp1}}$ = coordenada y da cabeceira de pouso 1.

$\text{coordx}_{\text{cabp2}}$ = coordenada x da cabeceira de pouso 2.

$\text{coordy}_{\text{cabp2}}$ = coordenada y da cabeceira de pouso 2.

$\text{coordx}_{\text{cabd1}}$ = coordenada x da cabeceira de decolagem 1.

$\text{coordy}_{\text{cabd1}}$ = coordenada y da cabeceira de decolagem 1.

$\text{coordx}_{\text{cabd2}}$ = coordenada x da cabeceira de decolagem 2.

$\text{coordy}_{\text{cabd2}}$ = coordenada y da cabeceira de decolagem 2.

coordx_i = coordenada x do obstáculo i.

coordy_i = coordenada y do obstáculo i.

elevação = elevação do aeródromo.

$\text{elev}_{\text{cabp1}}$ = elevação da cabeceira de pouso 1.

$elev_{cabp2}$ = elevação da cabeceira de pouso 2.

$elev_i$ = elevação do obstáculo.

TORA = comprimento da pista de decolagem.

3.2.3.1 Superfície de aproximação 1

A superfície de aproximação 1 é formada por três planos: dois inclinados com um dado gradiente e um horizontal. Ela situa-se a uma determinada distância da cabeceira de pouso 1, e seu prolongamento se dá para fora da pista, conforme mostrado na figura 14. A numeração na figura (1, 2 e 3) correspondem às regiões na qual a superfície foi dividida.

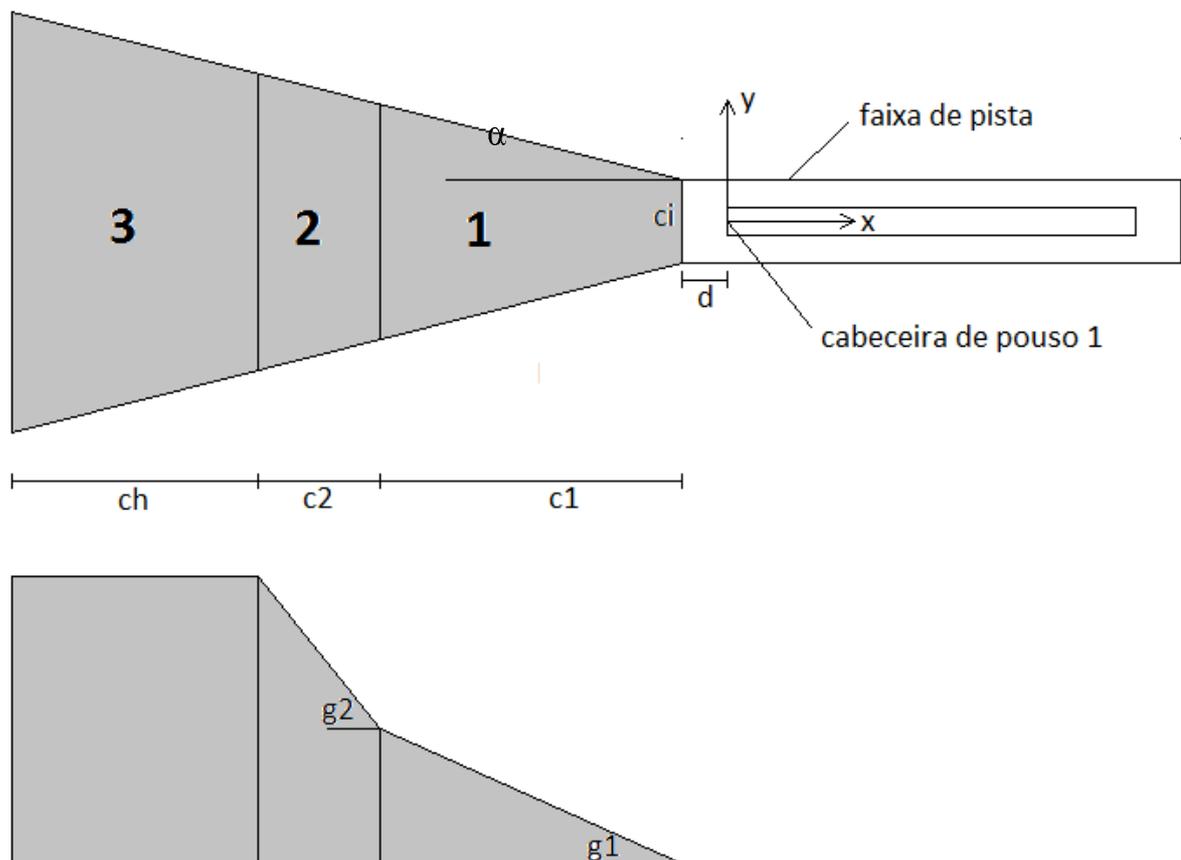


Figura 14- Superfície de aproximação 1

Cada região é um plano com dada inclinação. Essa superfície possui uma borda interna horizontal e perpendicular ao eixo da pista de pouso, e uma borda externa. Suas bordas laterais divergem a uma determinada razão. A elevação da borda interna é igual à da cabeceira de pouso 1. Os parâmetros da superfície encontram-se na Tabela 1..

Tabela 1- Parâmetros das superfícies de segurança (fonte: Portaria 256)

SUPERFÍCIES E DIMENSÕES (a)	VISUAL				INSTRUMENTO DE NÃO PRECISÃO				INSTRUMENTO DE PRECISÃO CAT I				INSTRUMENTO DE PRECISÃO CAT II E III
	Código de pista				Código de pista				Código de pista				Código de pista
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	3 e 4
CÔNICA													
Gradiente	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Altura	35m	55m	75m	100m	60m	60m	75m	100m	60m	60m	100m	100m	100m
HORIZONTAL INTERNA													
Altura	45m	45m	45m	45m	45m	45m	45m	45m	45m	45m	45m	45m	45m
Raio	2000m	2500m	4000m	4000m	3500m	3500m	4000m	4000m	3500m	3500m	4000m	4000m	4000m
TRANSIÇÃO													
Gradiente	20%	20%	14,3%	14,3%	20%	20%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%	14,3%
APROXIMAÇÃO (c)													
Comprimento da borda interna	60m	80m	150m	150m	150m	150m	300m	300m	150m	150m	300m	300m	300m
Distância da cabeceira	30m	60m	60m	60m	60m	60m	60m	60m	60m	60m	60m	60m	60m
Abertura para cada lado	10%	10%	10%	10%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%
Primeira Seção													
Comprimento	1600m	2500m	3000m	3000m	2500m	2500m	3000m	3000m	3000m	3000m	3000m	3000m	3000m
Gradiente	5%	4%	3,33%	2,5%	3,33%	3,33%	2%	2%	2,5%	2,5%	2%	2%	2%
Segunda Seção													
Comprimento	-	-	-	-	-	-	3600m (b)	3600m (b)	12000m	12000m	3600m (b)	3600m (b)	3600m (b)
Gradiente	-	-	-	-	-	-	2,5%	2,5%	3%	3%	2,5%	2,5%	2,50%
Seção Horizontal													

Parâmetros utilizados:

ci = largura da borda interna.

d = distância da cabeceira.

α = abertura para cada lado (em %).

$c1$ = comprimento da primeira seção.

$g1$ = gradiente da primeira seção (em %).

$c2$ = comprimento da segunda seção.

$g2$ = gradiente da segunda seção (em %).

ch = comprimento da seção horizontal.

Condições para estar sobre a região 1:

$$-c1 - d \leq coordx_i < -d$$

$$\left[\alpha \times (coordx_i + d) - \frac{ci}{2} \right] \leq coordy \leq \left[\alpha \times (-coordx_i - d) + \frac{ci}{2} \right]$$

Margem para a região 1:

$$\Delta h = elev_i - [elev_{cabp1} + g1 \times (-coordx_i - d)]$$

Condições para estar sobre a região 2:

$$-c1 - d - c2 \leq coordx_i < -c1 - d$$

$$\left[\alpha \times (coordx_i + d) - \frac{ci}{2} \right] \leq coordy_i \leq \left[\alpha \times (-coordx_i - d) + \frac{ci}{2} \right]$$

Margem para a região 2:

$$\Delta h = elev_i - [elev_{cabp1} + g1 \times c1 + g2 \times (-coordx_i - c1 - d)]$$

Condições para estar sobre a região 3

$$-c1 - d - c2 - ch \leq coordx_i < -c1 - d - c2$$

$$\left[\alpha \times (coordx_i + d) - \frac{ci}{2} \right] \leq coordy_i \leq \left[\alpha \times (-coordx_i - d) + \frac{ci}{2} \right]$$

Margem para a região 3:

$$\Delta h = elev_i - [elev_{cabp1} + g1 \times c1 + g2 \times c2]$$

3.2.3.2 Superfície de aproximação 2

A superfície de aproximação 2 é semelhante à superfície de aproximação 1. A diferença é que ela encontra-se no lado oposto, a uma determinada distância da cabeceira de pouso 2, conforme a figura 15.

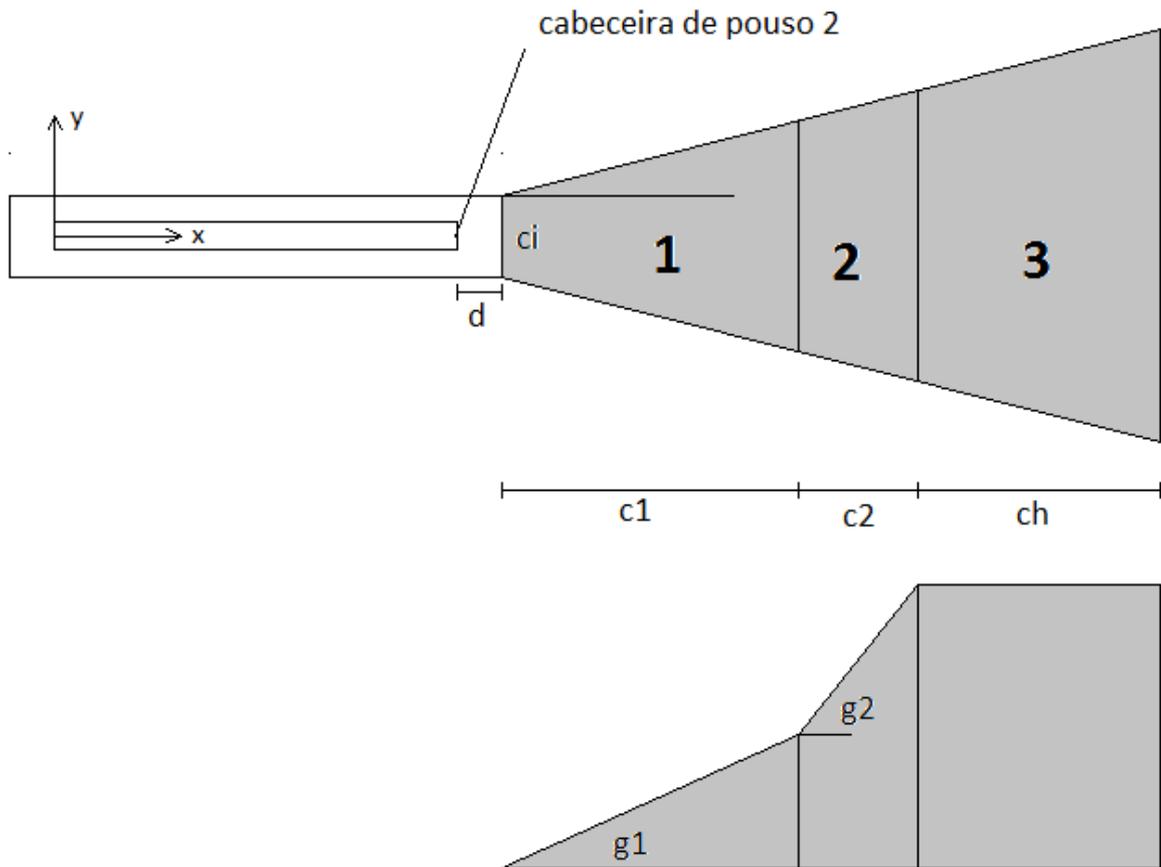


Figura 15 - Superfície de aproximação 2

Parâmetros utilizados:

São iguais aos da superfície de aproximação 1.

Condições para estar sobre a região 1:

$$\begin{aligned}
 & coordx_{cabp2} + d < coordx_i \leq coordx_{cabp2} + d + c1 \\
 & \left[\alpha \times (-coordx_i + d + coordx_{cabp2}) - \frac{ci}{2} \right] \leq coordy_i \\
 & \leq \left[\alpha \times (coordx_i - d - coordx_{cabp2}) + \frac{ci}{2} \right]
 \end{aligned}$$

Margem para a região 1:

$$\Delta h_i = elev_i - [elev_{cabp2} + g1 \times (coordx_i - d - coord_{cabp2})]$$

Condições para estar sobre a região 2:

$$coordx_{cabp2} + d + c1 < coordx_i \leq coordx_{cabp2} + d + c1 + c2$$

$$\begin{aligned} \left[\alpha \times (-coordx_i + d + coordx_{cabp2}) - \frac{ci}{2} \right] &\leq coordy_i \\ &\leq \left[\alpha \times (coordx_i - d - coordx_{cabp2}) + \frac{ci}{2} \right] \end{aligned}$$

Margem para a região 2:

$$\Delta h_i = elev_i - [elev_{cabp2} + g1 \times c1 + g2 \times (coordx_i - c1 - d - coord_{cabp2})]$$

Condições para estar sobre a região 3

$$coordx_{cabp2} + d + c1 + c2 < coordx \leq coordx_{cabp2} + d + c1 + c2 + ch$$

$$\begin{aligned} \left[\alpha \times (-coordx_i + d + coordx_{cabp2}) - \frac{ci}{2} \right] &\leq coordy_i \\ &\leq \left[\alpha \times (coordx_i - d - coordx_{cabp2}) + \frac{ci}{2} \right] \end{aligned}$$

Margem para a região 3:

$$\Delta h = elev_i - [elev_{cabp2} + c1 \times g1 + c2 \times g2]$$

3.2.3.3 Superfície horizontal interna

A superfície horizontal interna consiste de um plano horizontal localizado em cima da pista, a 45 m da elevação do aeródromo. Seus limites externos são semicírculos com centro nas cabeceiras de pouso, ligados por tangentes. A Figura 16 mostra um esquema dessa superfície. Seus parâmetros se encontram na Tabela 1.

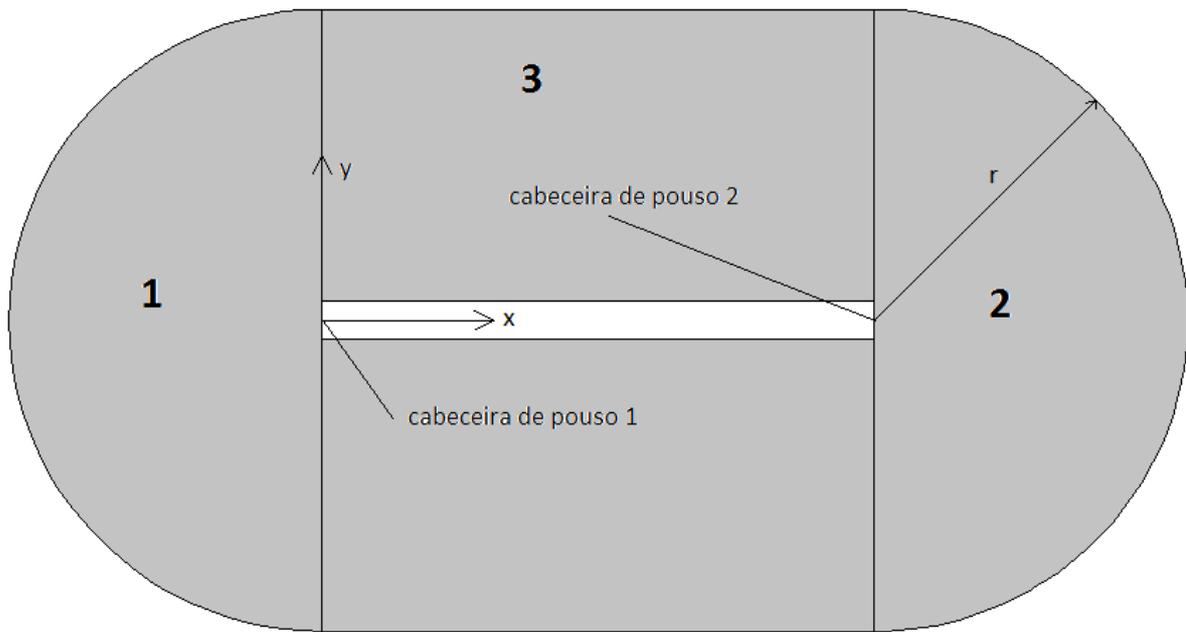


Figura 16- Superfície horizontal interna

Parâmetros utilizados:

r = raio dos semi-círculos.

Condições para estar sobre a região 1:

$$\begin{aligned} \text{coord}x_i &< \text{coord}x_{\text{cabp1}} \\ \text{coord}x_i^2 + \text{coord}y_i^2 &\leq r^2 \end{aligned}$$

Margem para a região 1:

$$\Delta h = \text{elev}_i - (\text{elevação} + 45\text{m})$$

Condições para estar sobre a região 2:

$$\begin{aligned} \text{coord}x_i &> \text{coord}x_{\text{cabp2}} \\ (\text{coord}x_i - \text{coord}x_{\text{cabp2}})^2 + \text{coord}y_i^2 &\leq r^2 \end{aligned}$$

Margem para a região 2:

$$\Delta h_i = \text{elev}_i - (\text{elevação} + 45\text{m})$$

Condições para estar sobre a região 3

$$\text{coord}_{\text{cabp1}} \leq \text{coord}x_i \leq \text{coord}x_{\text{cabp2}}$$

$$\text{coord}y_i^2 \leq r^2$$

Margem para a região 3:

$$\Delta h_i = \text{elev}_i - (\text{elevação} + 45\text{m})$$

3.2.3.4 Superfície de transição 1

A superfície de transição é dividida em duas regiões. A primeira é uma rampa com uma borda inferior que se estende ao longo da faixa de pista. Essa rampa sobe a um determinado gradiente até atingir a superfície horizontal interna. A elevação de um ponto na ao longo da faixa de pista é igual à elevação do ponto mais próximo ao eixo da pista de pouso ou de seu prolongamento. A segunda região começa no fim da faixa de pista. Ela é um plano formado pela lateral da superfície de aproximação 1, a lateral da região 1 da superfície de transição e a linha que liga os pontos de encontro dessas duas laterais com as superfície horizontal interna. A figura 17 mostra um esquema dessa superfície. Os parâmetros utilizados também estão na Tabela 1.

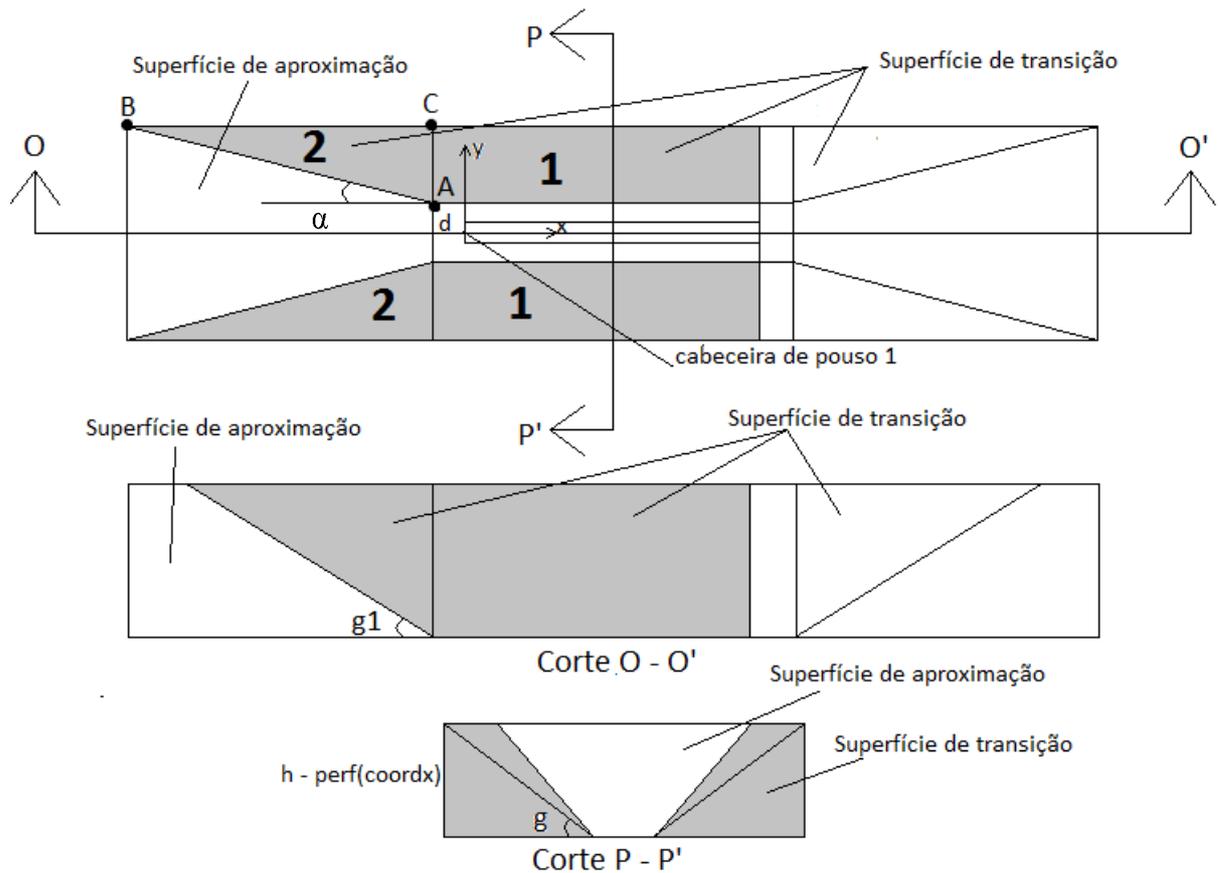


Figura 17- Superfície de transição 1

Parâmetros utilizados:

$h = 45 \text{ m.}$

g_T = gradiente que a superfície sobe ao longo da faixa de pista.

ci = comprimento da borda interna da superfície de aproximação.

d = distância da borda interna da superfície de aproximação à cabeceira de pouso.

$g1$ = gradiente da superfície de aproximação.

Condições para estar sobre a região 1:

$$-d \leq \text{coord}x_i \leq \text{coord}x_{cabp2}$$

$$\text{coody}_i \leq \left[\frac{(h + \text{elevação} - \text{perf}(\text{coord}x_i))}{g} + ci/2 \right].$$

Margem para a região 1:

$$\Delta h_i = elev_i - [(coordy_i - ci/2) \times g_T + perf(coordx_i)].$$

Condições para estar sobre a região 2:

Devido à complexidade da região 2, utilizou-se de ferramentas de Geometria Analítica para sua análise. Primeiramente identificou-se as coordenadas dos pontos A, B e C da figura 13.

Coordenadas de A:

$$x_a = -d.$$

$$y_a = ci/2.$$

$$z_a = elev_{cabp1}.$$

Coordenadas de B:

$$x_b = -d - \frac{(h + elevação - z_a)}{g1}.$$

$$y_b = ci/2 + \frac{(h + elevação - z_a)}{g1} \times \alpha.$$

$$z_b = h + elevação.$$

Coordenadas de C:

$$x_c = -d.$$

$$y_c = ci/2 + \frac{(h + elevação - z_a)}{g}.$$

$$z_c = h + elevação.$$

Com isso, tem-se que para estar-se sobre a superfície:

$$x_b \leq coordx_i < x_a$$

$$[(-coordx_i - d) \times \alpha + ci/2] \leq coordy_i \leq (-coordx_i - d) \times \alpha + ci/2 + \Delta y$$

O valor de Δy é dado pela semelhança do triângulo ABC, com o triângulo PBQ da figura 18:

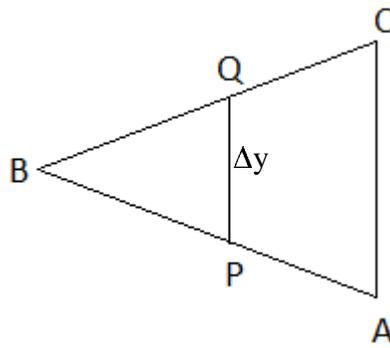


Figura 18- Definição do Δy

Assim:

$$\Delta y = (\text{coord}x_i - x_b) \times \frac{(y_c - y_a)}{(x_a - x_b)}$$

Margem para a região 2:

Para o cálculo da margem, encontrou-se a equação do plano no qual a superfície está contida. A equação de um plano qualquer é dada por $ax + by + cz + k$, onde a , b e c são as coordenadas de um vetor perpendicular ao plano e k é uma constante. Para se determinar um vetor perpendicular ao plano, pode-se calcular o produto vetorial de dois vetores pertencentes a esse plano e o resultado será um vetor perpendicular a ele. No caso, escolheu-se os vetores \overrightarrow{BA} de coordenadas X_1 , Y_1 e Z_1 , e \overrightarrow{CB} com coordenadas X_2 , Y_2 e Z_2 . Seus valores são:

$$X_1 = x_a - x_b$$

$$Y_1 = y_a - y_b$$

$$Z_1 = z_a - z_b$$

$$X_2 = x_b - x_c$$

$$Y_2 = y_b - y_c$$

$$Z_2 = z_b - z_c$$

Fazendo o produto vetorial, obtém-se um vetor de coordenadas X_3 , Y_3 e Z_3 , cujos valores são:

$$X_3 = Y_1 \times Z_2 - Y_2 \times Z_1$$

$$Y_3 = Z_1 \times X_2 - X_1 \times Z_2$$

$$Z_3 = X_1 \times Y_2 - Y_1 \times X_2$$

Finalmente, determina-se a equação do plano:

$$X_3x + Y_3y + Z_3z + k = 0.$$

Substituindo o ponto A na equação, obtém-se o valor de k:

$$k = -(X_3x_a + Y_3y_a + Z_3z_a)$$

Para o cálculo da margem, substitui-se as coordenadas x e y do obstáculo na equação do plano para determinar a coordenada z.

$$\Delta h_i = elev_i - z_i = elev_i - \frac{(x_a \times X_3 + y_a \times Y_3 + z_a \times Z_3 - coordx_i \times X_3 - coordy_i \times Y_3)}{Z_3}$$

3.2.3.5 Superfície de transição 2

A Superfície de transição 2 é semelhante à superfície de transição 1, porém ela é referente à superfície de aproximação 2, conforme a Figura 19:

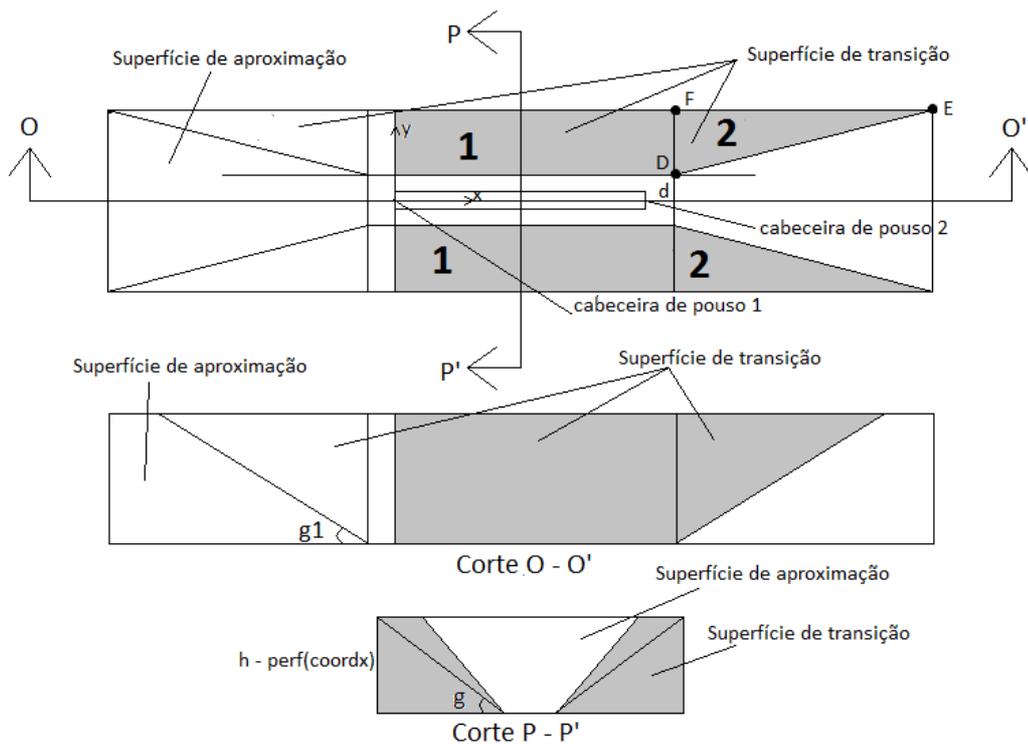


Figura 19:- Superfície de transição 2

Parâmetros utilizados:

São os mesmos da superfície de transição 1

Condições para estar sobre a região 1:

$$\begin{aligned} \text{coord}x_{cabp1} &\leq \text{coord}x_i \leq \text{coord}x_{cabp2} + d \\ \text{coord}y_i &\leq \left[\frac{(45 + \text{elevação} - \text{perf}(\text{coord}x_i))}{g} + ci/2 \right]. \end{aligned}$$

Margem para a região 1:

$$\Delta h_i = \text{elev}_i - [(\text{coord}y_i - ci/2) \times g + \text{perf}(\text{coord}x_i)].$$

Condições para estar sobre a região 2:

Para a região 2, realiza-se o mesmo processo utilizado na superfície de transição 1. Nesse caso os pontos são D, E e F.

Coordenadas de D:

$$\begin{aligned} x_d &= \text{coord}x_{cabp2} + d \\ y_d &= ci/2 \\ z_d &= \text{elev}_{cabp2} \end{aligned}$$

Coordenadas de E:

$$\begin{aligned} x_e &= x_d + \frac{(45 + \text{elevação} - z_d)}{g1} \\ y_e &= ci/2 + \frac{(45 + \text{elevação} - z_d)}{g1} \times \alpha \\ z_e &= 45 + \text{elevação} \end{aligned}$$

Coordenadas de F:

$$x_f = \text{coord}x_{cabp2} + d$$

$$y_f = ci/2 + \frac{(45 + \text{elevação} - z_d)}{g}$$

$$z_f = 45 + \text{elevação}.$$

Para estar-se sobre a superfície:

$$x_d \leq \text{coord}x_i \leq x_e$$

$$[(\text{coord}x_i - d - \text{coord}x_{cabp2}) \times \alpha + ci/2] \leq \text{coord}y_i$$

$$\leq (\text{coord}x_i - d - \text{coord}x_{cabp2}) \times \alpha + ci/2 + (x_e - \text{coord}x_i) \times \frac{(y_f - y_d)}{(x_e - x_d)}.$$

Margem para a região 2:

Neste caso, os vetores pertencentes ao plano são \overrightarrow{ED} de coordenadas X_1, Y_1 e Z_1 , e \overrightarrow{FE} com coordenadas X_2, Y_2 e Z_2 . Seu valores são:

$$X_1 = x_d - x_e$$

$$Y_1 = y_d - y_e$$

$$Z_1 = z_d - z_e$$

$$X_2 = x_e - x_f$$

$$Y_2 = y_e - y_f$$

$$Z_2 = z_e - z_f$$

Fazendo o produto vetorial, obtém-se um vetor de coordenadas X_3, Y_3 e Z_3 , cujos valores são:

$$X_3 = Y_1 \times Z_2 - Y_2 \times Z_1$$

$$Y_3 = Z_1 \times X_2 - X_1 \times Z_2$$

$$Z_3 = X_1 \times Y_2 - Y_1 \times X_2$$

Finalmente, determina-se a equação do plano:

$$X_3x + Y_3y + Z_3z + k = 0.$$

Substituindo o ponto D na equação, obtém-se o valor de k:

$$k = -(X_3x_d + Y_3y_d + Z_3z_d)$$

Para o cálculo da margem, substitui as coordenadas x e y do obstáculo na equação do plano, para determinar a coordenada z.

$$\Delta h_i = elev_i - z_i = elev_i - \frac{(x_d \times X_3 + y_d \times Y_3 + z_d \times Z_3 - coordx_i \times X_3 - coordy_i \times Y_3)}{Z_3}$$

3.2.3.6 Superfície de decolagem 1

A superfície de decolagem 1 consiste de um plano inclinado, que fica a uma distância d_1 da pista de decolagem 1. Ela possui uma borda interna, perpendicular ao eixo da pista, e uma borda externa paralela. Essa superfície se divide em duas regiões, uma cujas laterais divergem uniformemente a uma determinada razão e outra cujas laterais são paralelas, conforme a Figura 20.

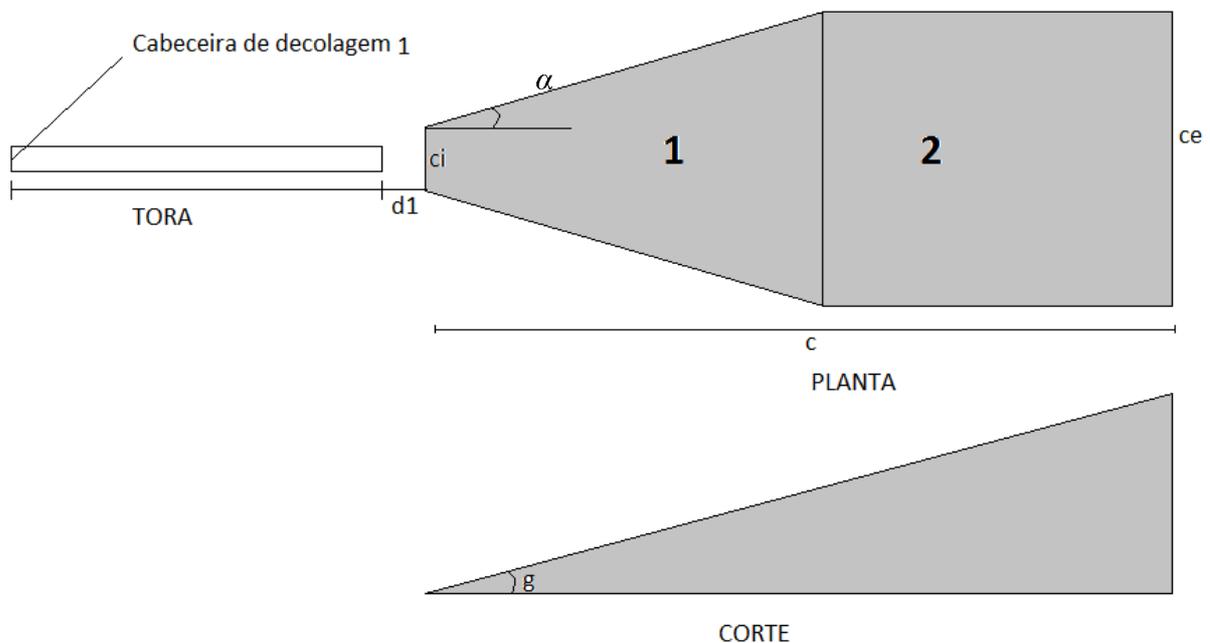


Figura 20- Superfície de decolagem 1

Parâmetros utilizados:

c_{iD} = comprimento da borda interna.

$d1$ = distância do final na pista..

ce = comprimento da borda externa.

c = comprimento total.

g_D = gradiente.

α = abertura para cada lado.

Esses parâmetros são retirados da Tabela 2:

Tabela 2 Parâmetros da superfície de decolagem

SUPERFÍCIES E DIMENSÕES (a)	Código de pista 1	Código de pista 2	Código de pista 3 e 4
DECOLAGEM (e)			
Comprimento da borda interna	60m	80m	180m
Distância do final da pista (b)	30m	60m	60m
Abertura para cada lado	10%	10%	12,50%
Largura final	380m	580m	1200m
Comprimento	1600m	2500m	15000m (c)
Gradiente	5%	4%	2% (d)

Condições para estar sobre a região 1:

$$\begin{aligned}
 coordx_{cabd1} + tora + \max(d1, CLW) &\leq coordx_i \\
 &\leq coordx_{cabd1} + tora + \max(d1, CLW) + \frac{(ce - ci_D)}{2 \times \alpha} \\
 -\frac{ci_D}{2} - (coordx_i - coordx_{cabd1} - tora - \max(d1, CLW)) \times \alpha &\leq coordy_i \\
 &\leq \frac{ci}{2} + (coordx_i - coordx_{cabd1} - tora - \max(d1, CLW)) \times \alpha
 \end{aligned}$$

Margem para a região 1:

$$\Delta h = elev_i - [pref(coordx_i) + (coordx_i - coordx_{cabd1} - tora - \max(d1, CLW)) \times g]$$

Condições para estar sobre a região 2:

$$\begin{aligned}
 coordx_{cabd1} + tora + d1 + \frac{(ce - ci_D)}{2 \times \alpha} &< coordx_i \\
 &\leq coordx_{cabd1} + tora + \max(d1, CLW) + c \\
 -\frac{ce}{2} &\leq coordy_i \leq \frac{ce}{2}
 \end{aligned}$$

Margem para a região 2:

$$\Delta h = elev_i - [pref(coordx_i) + (coordx_i - coordx_{cabd1} - tora - \max(d1, CLW)) \times g]$$

3.2.3.7 Superfície de decolagem 2

É semelhante à superfície de decolagem 1, com a diferença de que se refere à pista de decolagem 2, conforme a Figura 21.

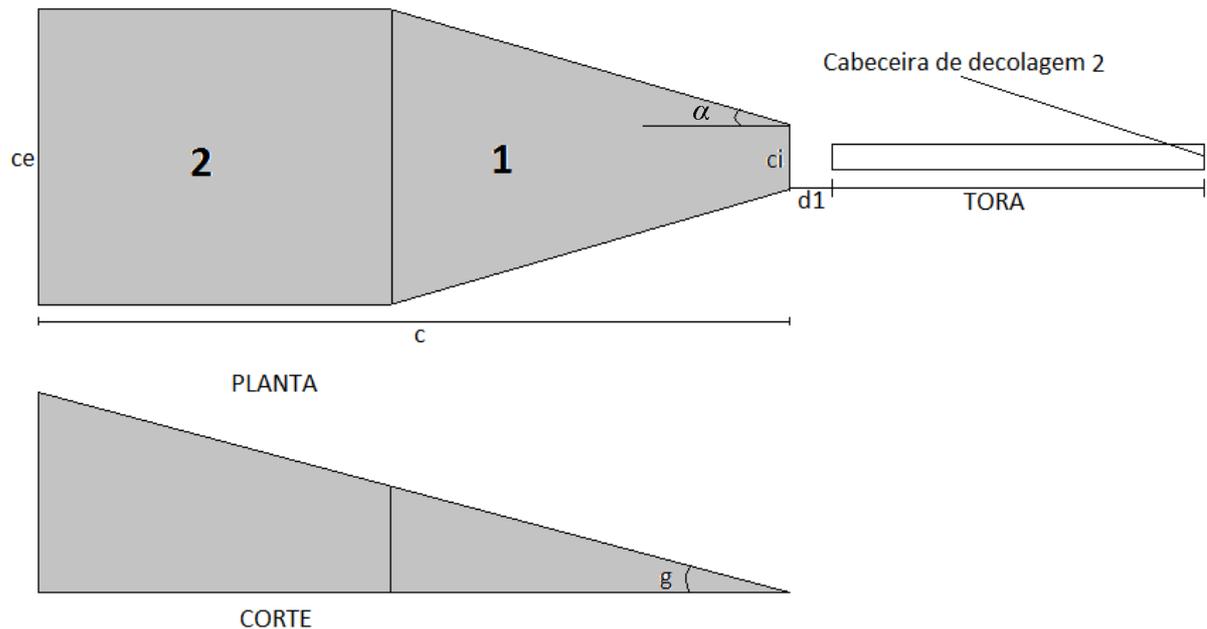


Figura 21- Superfície de decolagem 2

Parâmetros utilizados:

São os mesmos da superfície de decolagem 1.

Condições para estar sobre a região 1:

$$\begin{aligned} coordx_{cabd2} - tora - \max(d1, CLW) - \frac{(ce - ci_D)}{2 \times \alpha} &\leq coordx_i \\ &\leq coordx_{cabd2} - tora - \max(d1, CLW) \\ -\frac{ci_D}{2} - (-coordx_i + coordx_{cabd2} - tora - \max(d1, CLW)) \times \alpha &\leq coordy_i \\ &\leq \frac{ci_D}{2} + (-coordx_i + coordx_{cabd2} - tora - \max(d1, CLW)) \times \alpha \end{aligned}$$

Margem para a região 1:

$$\Delta h = elev_i - [pref(coordx_i) + (-coordx_i + coordx_{cabd2} - tora - \max(d1, CLW)) \times g]$$

Condições para estar sobre a região 2:

$$\begin{aligned} coordx_{cabd2} - tora - \max(d1, CLW) - c &< coordx_i \\ &\leq coordx_{cabd2} - tora - \max(d1, CLW) - \frac{(ce - ci_D)}{2 \times \alpha} \\ -\frac{ce}{2} &\leq coordy_i \leq \frac{ce}{2} \end{aligned}$$

Margem para a região 2:

$$\Delta h = elev_i - [pref(coordx_i) + (-coordx_i + coordx_{cabd2} - tora - \max(d1, CLW)) \times g]$$

3.2.3.8 Superfície cônica

A superfície cônica consiste de uma rampa, que sobe segundo um determinado gradiente. Ela possui borda interna coincidindo com o limite externo da superfície horizontal

e borda externa acima dessa. Os parâmetros da superfície constam na tabela 1 e ela está esquematizada na figura 22. Os parâmetros utilizados também estão contidos na Tabela 1.

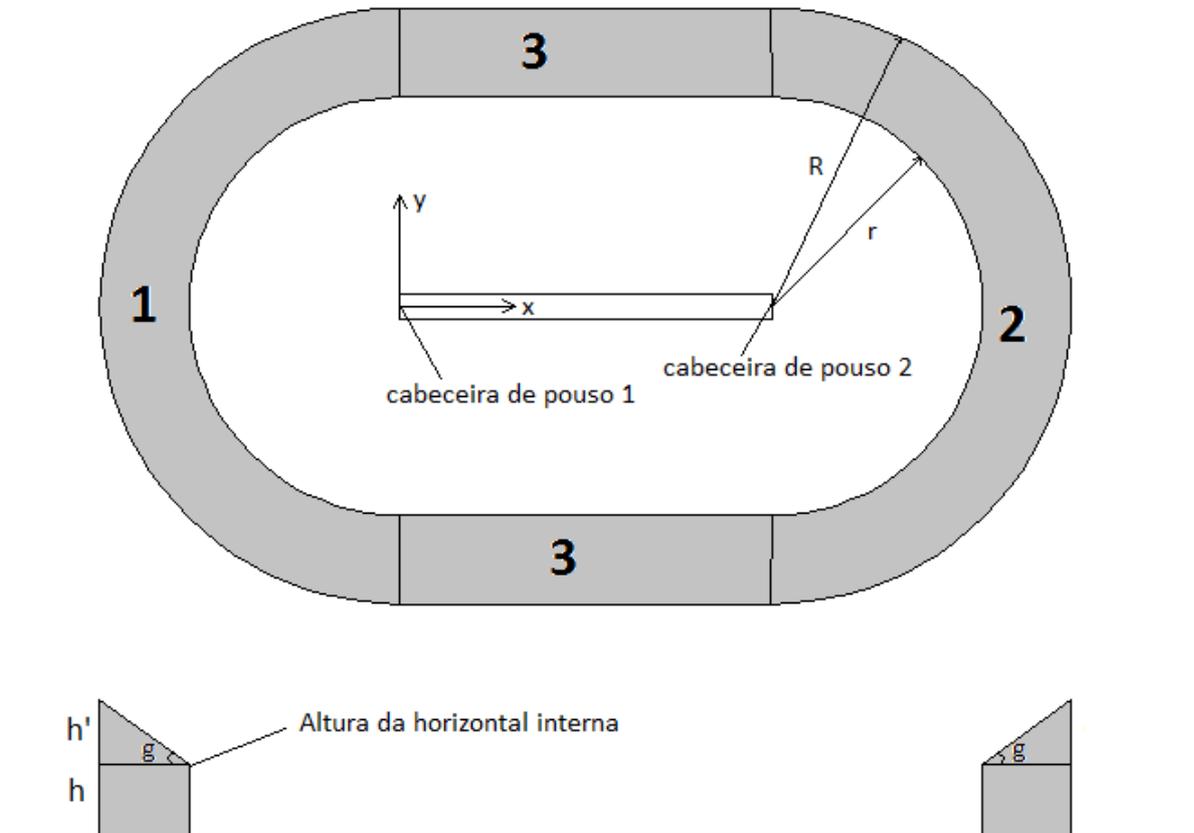


Figura 22- Superfície cônica

Parâmetros utilizados:

g_c = gradiente.

h' = altura acima da superfície horizontal interna

r = raio dos semicírculos da superfície horizontal.

R = raio dos semicírculos que são projeções da superfície cônica na horizontal.

Tem-se que $R = r + h'/g$,

Condições para estar sobre a região 1:

$$\begin{aligned} \text{coord}x_i &< \text{coord}x_{cabp1} \\ r^2 &\leq \text{coord}x_i^2 + \text{coord}y_i^2 \leq R^2 \end{aligned}$$

Margem para a região 1:

$$\Delta h_i = elev_i - [elevação + 45m + \left(\sqrt{coordx_i^2 + coordy_i^2} - r \right) \times g_c]$$

Condições para estar sobre a região 2:

$$\begin{aligned} coordx_i &> coordx_{cabp2} \\ r^2 &\leq (coordx_i - coordx_{cabp2})^2 + coordy_i^2 \leq R^2 \end{aligned}$$

Margem para a região 2:

$$\Delta h_i = elev_i - \left[elevação + 45m + \left(\sqrt{(coordx_i - coordx_{cabp2})^2 + coordy_i^2} - r \right) \times g_c \right]$$

Condições para estar sobre a região 3

$$\begin{aligned} coordx_{cabp1} &\leq coordx \leq coordx_{cabp2} \\ r^2 &< coordy^2 \leq R^2 \end{aligned}$$

Margem para a região 3:

$$\Delta h_i = elev_i - [elevação + 45m + (valor_absoluto(coordy_i) - r) \times g_c]$$

3.2.3.9 Superfície de aproximação interna 1

A superfície de aproximação interna 1 caracteriza-se por uma rampa retangular, com a borda interna paralela à cabeceira de pouso 1 a uma determinada distância desta. A figura 23 contém um esquema da superfície de aproximação interna 1. Os valores dos parâmetros utilizados estão na tabela 3.

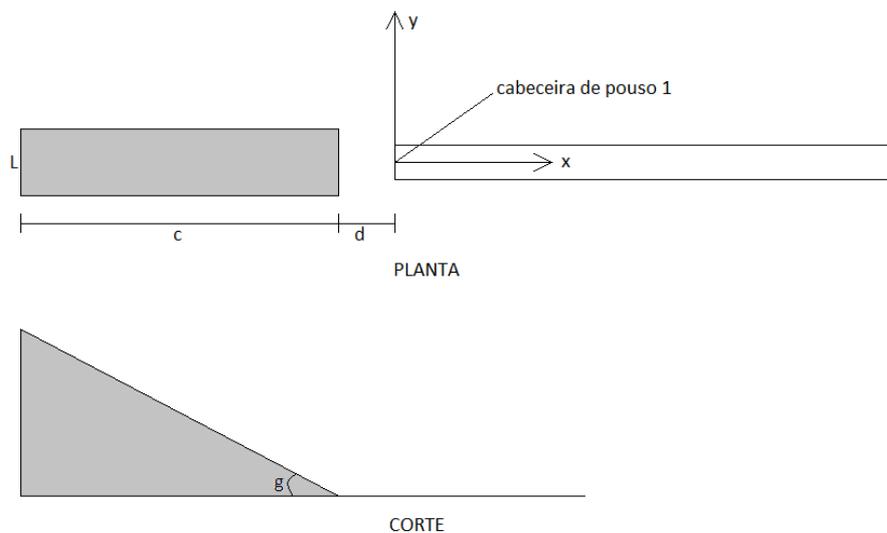


Figura 23- Superfície de aproximação interna 1

Tabela 3 - Parâmetros das superfícies das zonas livre de obstáculos

SUPERFÍCIES E DIMENSÕES (a)	VISUAL				INSTRUMENTO DE NÃO-PRECISÃO			INSTRUMENTO DE PRECISÃO CAT I		INSTRUMENTO DE PRECISÃO CAT II E III
	Código de pista				Código de pista			Código de pista		Código de pista
	1	2	3	4	1 e 2	3	4	1 e 2	3 e 4	3 e 4
APROXIMAÇÃO INTERNA										
Largura	-	-	-	-	-	-	-	90m	120m (e)	120m (e)
Distância da cabeceira	-	-	-	-	-	-	-	60m	60m	60m
Comprimento	-	-	-	-	-	-	-	900m	900m	900m
Gradiente	-	-	-	-	-	-	-	2,5%	2%	2%
TRANSIÇÃO INTERNA										
Gradiente	-	-	-	-	-	-	-	40%	33,30%	33,30%
POUSO INTERROMPIDO										
Comprimento da borda interna	-	-	-	-	-	-	-	90m	120m (e)	120m (e)
Distância da cabeceira	-	-	-	-	-	-	-	(e)	1800m (d)	1800m (d)
Abertura para cada lado	-	-	-	-	-	-	-	10%	10%	10%
Gradiente	-	-	-	-	-	-	-	4%	3,33%	3,33%

df

Parâmetros utilizados:

L = largura da superfície.

d = distância da borda interna à cabeceira de pouso 1.

c = comprimento.

g_i = gradiente

Condições para estar sobre a superfície:

$$-d - c \leq coordx_i \leq -d$$

$$-\frac{L}{2} \leq coordy_i \leq \frac{L}{2}$$

Margem para a superfície:

$$\Delta h_i = elev_i - [elev_{cabp1} + (-coordx_i - d) \times g_i]$$

Superfície de aproximação interna 2

A superfície de aproximação interna 2 é semelhante á superfície de aproximação interna 1, porém localizada no lado oposto da pista, conforme a Figura 24:

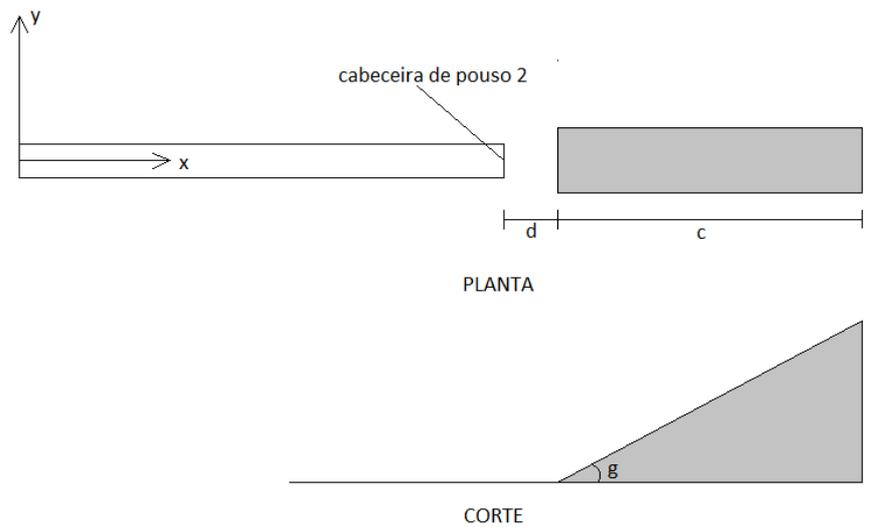


Figura 24- Superfície de aproximação interna 2

Parâmetros utilizados:

São os mesmos da superfície de aproximação interna 1.

Condições para estar sobre a superfície:

$$coordx_{cabp2} + d \leq coordx_i \leq coordx_{cabp2} + d + c$$

$$-\frac{L}{2} \leq coordy_i \leq \frac{L}{2}$$

Margem para a superfície:

$$\Delta h_i = elev_i - [elev_{cabp1} + (coordx_i - coordx_{cabp2} - d) \times g_i]$$

3.2.3.10 Superfície de pouso interrompido 1

A superfície de pouso interrompido 1 consiste de uma rampa inclinada localizada no final da pista de pouso. Ela possui um aborda interna horizontal e perpendicular ao eixo da pista, uma borda externa paralela à borda interna e localizada no plano da Superfície Horizontal Interna, como mostra a Figura 25 A elevação da borda interna é igual à elevação do eixo da pista na cabeceira. Seus parâmetros são retirados da Tabela 3.

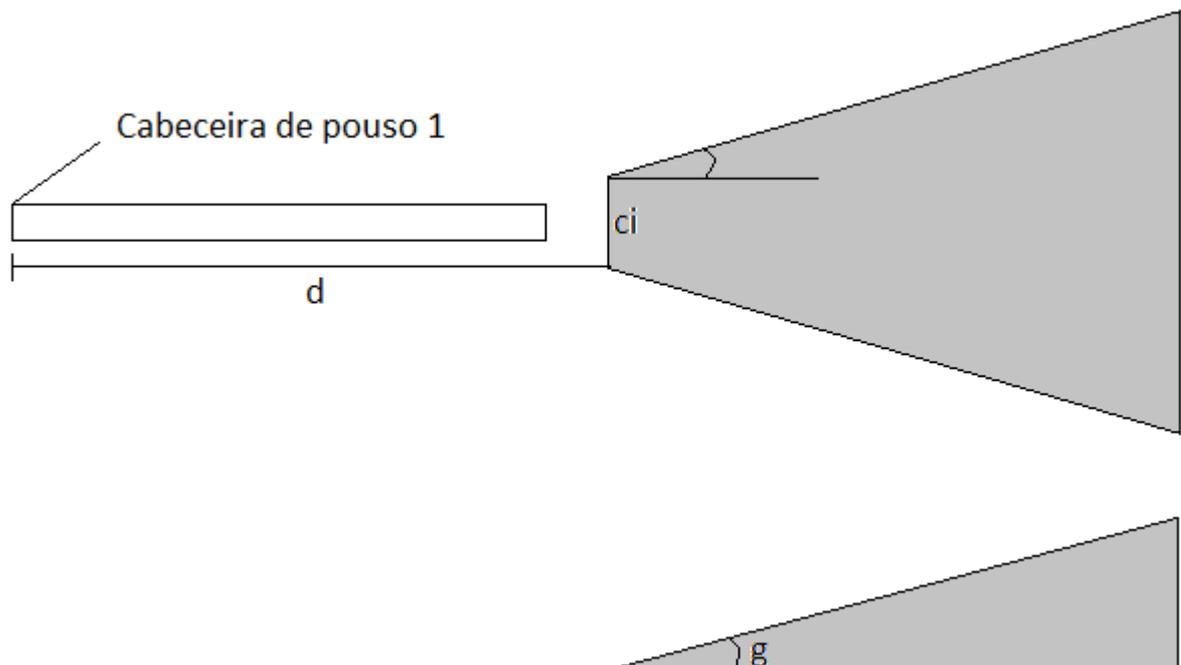


Figura 25- Superfície de Pouso Interrompido 1

Parâmetros utilizados:

ci = comprimento da borda interna.

d = distância da cabeceira de pouso 1 em direção à cabeceira oposta. Se essa distância for maior que a pista de pouso 1, seu valor será o comprimento da pista de pouso. Considerou-se que o comprimento da pista de pouso equivale à distância entre as duas cabeceiras de pouso.

α = abertura para cada lado.

g = gradiente

Condições para estar sobre a superfície:

$$\begin{aligned} coord_{cabp2} - d - \frac{(45m + elevacao)}{g} &\leq coordx_i \leq coord_{cabp2} - d \\ -\frac{ci}{2} - (-coordx_i + coord_{cabp2} - d) \times \alpha &\leq coordy_i \\ &\leq \frac{ci}{2} + (-coordx_i + coord_{cabp2} - d) \times \alpha \end{aligned}$$

Margem para a superfície:

$$\Delta h_i = elev_i - [perf(coordx_i) + (-coordx_i + coord_{cabp2} - d) \times g]$$

3.2.3.11 Superfície de pouso interrompido 2

Equivalente à superfície de pouso interrompido 1.

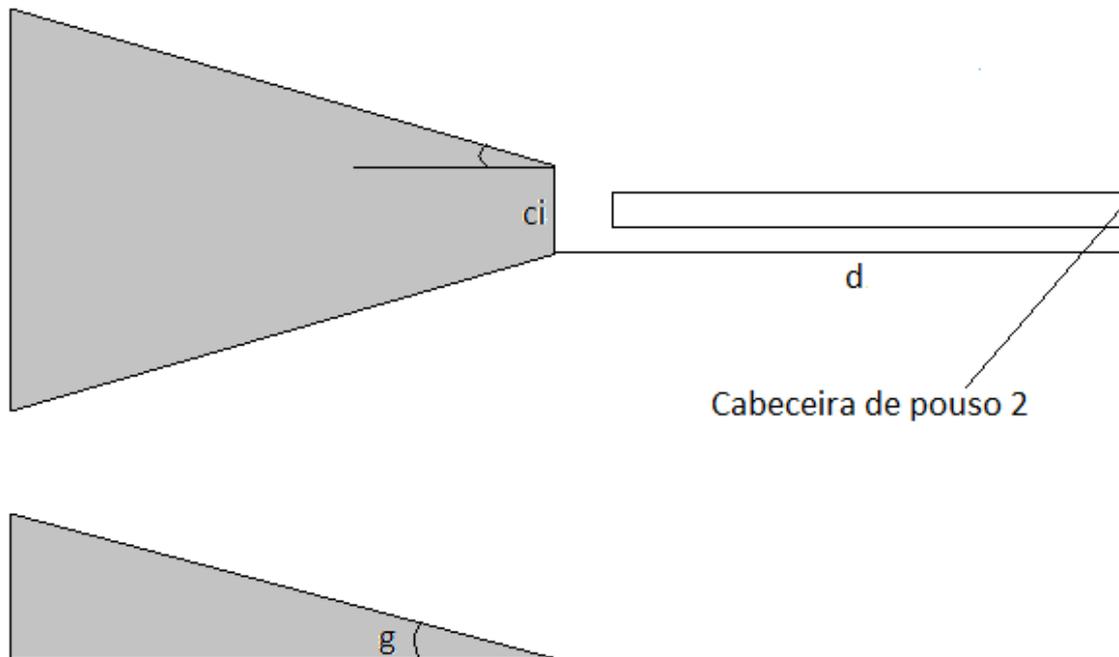


Figura 26- Superfície de Pouso Interrompido 2

Parâmetros utilizados:

ci = comprimento da borda interna.

d = distância da cabeceira de pouso 1. Se essa distância for maior que a pista de pouso 1, seu valor será o comprimento da pista de pouso. Considerou-se que o comprimento da pista de pouso equivale à distância entre as duas cabeceiras de pouso.

α = abertura para cada lado.

g = gradiente

Condições para estar sobre a superfície:

$$d \leq coordx_i \leq d + \frac{(45m + elevacao)}{g}$$

$$-\frac{ci}{2} - (coordx_i - d) \times \alpha \leq coordy_i \leq \frac{ci}{2} + (coordx_i - d) \times \alpha$$

Margem para a superfície:

$$\Delta h_i = elev_i - [perf(coordx_i) + (coordx_i - d) \times g_i]$$

3.2.3.12 Superfície do auxílio DME

Essa superfície é composta por duas regiões. A primeira é uma superfície horizontal circular, cujo eixo coincide com o eixo da antena e sua altura é igual à cota da base da antena. A segunda região é uma rampa com borda inferior coincidente com o limite externo da superfície horizontal e borda superior localizada a uma determinada altura da superfície horizontal. Essa rampa sobe em um determinado gradiente. O desenho da superfície encontra-se na Figura 27. Os parâmetros são retirados da Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros das superfícies dos auxílios de navegação

AUXÍLIOS À NAVEGAÇÃO AÉREA		SUPERFÍCIE HORIZONTAL			SUPERFÍCIE EM RAMPA					
		Tipo	Configuração	Cota	Tipo	Configuração	Cota inferior	Cota superior *	Gradiente	
AUXÍLIOS RÁDIO	DME	Circular	Centro = eixo da antena Raio = 100m	Base da antena	Tronco de Cone	Raio menor = 100m Raio maior = 5100m	Base da antena	200m	4%	
	NDB	Circular	Centro = eixo da torre Raio = altura da torre (H)	Base da torre	Tronco de Cone	Raio menor = altura da torre (H) Raio maior = H + 200m	Base da torre	Altura da torre (H)	H/200	
	VOR	Circular	Centro = eixo da antena Raio = 100m	Base da estrutura	Tronco de Cone	Raio menor = 100m Raio maior = 15100m	Base da estrutura	300m	2%	
	D-VOR	Circular	Centro = eixo da antena Raio = 100m	Base da antena	Tronco de Cone	Raio menor = 100m Raio maior = 5100m	Base da antena	200m	4%	
	GBAS	VDB	Circular	Centro = eixo da antena Raio = 100m	Base da antena	Tronco de Cone	Raio menor = 100m Raio maior = 5100m	Base da antena	250m	5%
		ESTAÇÃO REFERÊNCIA	Circular	Centro = eixo da antena Raio = 50m	Base da antena	Tronco de Cone	Raio menor = 50m Raio maior = 5050m	Base da antena	250m	5%
		LOCALIZADOR	Retangular	Comprimento = distância da THR ao eixo das antenas + 75m Largura = 150m	Base das antenas	---	---	---	---	---
		ILS	GLIDE PATH	Comprimento = 600m Largura = distância da lateral da pista até a antena + 120m	Base da estrutura	Retangular	Distância = 9000m Largura = distância da lateral da pista até a antena + 120m	Base da estrutura	180m	2%
			MARCADOR	Centro = eixo da antena Raio = 15m	Base da antena	---	---	---	---	---

OBS: A cota superior é medida a partir da cota inferior de cada superfície.

* A cota superior é medida a partir da cota inferior de cada superfície.

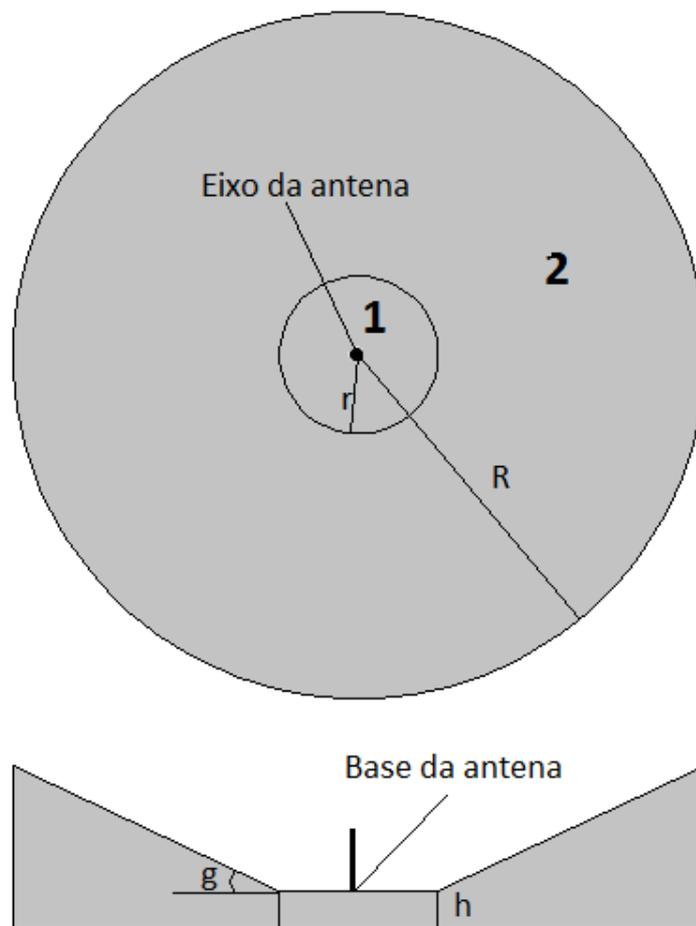


Figura 27- Superfície do auxílio DME

Parâmetros utilizados:

h = elevação da base da antena

r = raio do círculo menor.

R = raio do círculo maior

g = gradiente.

$coordx_{dme}$ = coordenada x do eixo da antena.

$coordy_{dme}$ = coordenada y do eixo da antena.

Condições para estar sobre a região 1:

$$(coordx_i - coordx_{dme})^2 + (coordy_i - coordy_{dme})^2 \leq r^2$$

Margem para a região 1:

$$\Delta h_i = elev_i - h$$

Condições para estar sobre a região 2:

$$r^2 \leq (coordx_i - coordx_{dme})^2 + (coordy_i - coordy_{dme})^2 \leq R^2$$

Margem para a região 2:

$$\Delta h_i = elev_i - [h + (\sqrt{(coordx_i - coordx_{dme})^2 + (coordy_i - coordy_{dme})^2} - r) \times g]$$

3.2.3.13 Superfície do auxílio NDB

A superfície do NDB também é composta por duas regiões. A primeira é uma superfície horizontal circular, cujo eixo coincide com o eixo da torre e sua altura é igual à cota da base da torre. A segunda região é uma rampa com borda inferior coincidente com o limite externo da superfície horizontal e borda superior localizada a uma altura igual à altura da torre. O desenho da superfície encontra-se na Figura 28. Os parâmetros são retirados da Tabela 4.

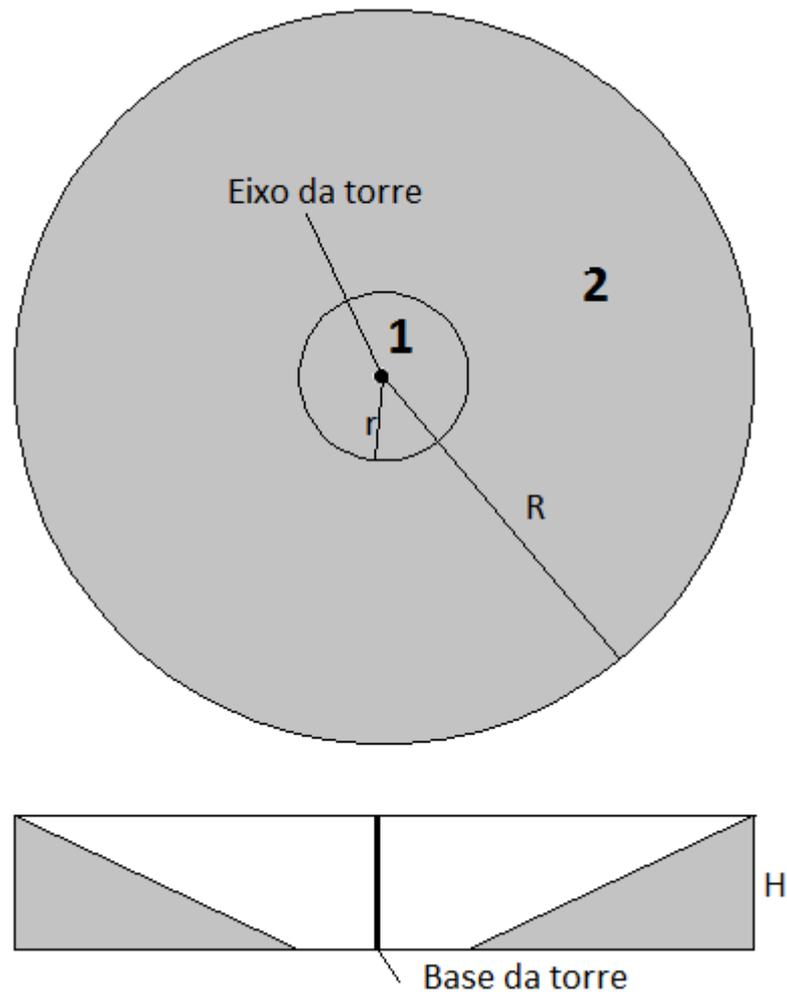


Figura 28- Superfície do auxílio NDB

Parâmetros utilizados:

h = elevação da base da torre

H = altura da torre

r = raio do círculo menor = H

R = raio do círculo maior = $H + 200$ m

$Coordx_{ndb}$ = coordenada x do eixo da torre

$Coordy_{ndb}$ = coordenada y do eixo da torre

Condições para estar sobre a região 1:

$$(coordx_i - coordx_{ndb})^2 + (coordy_i - coordy_{ndb})^2 \leq r^2$$

Margem para a região 1:

$$\Delta h_i = elev_i - h$$

Condições para estar sobre a região 2:

$$r^2 \leq (coordx_i - coordx_{ndb})^2 + (coordy_i - coordy_{ndb})^2 \leq R^2$$

Margem para a região 2:

$$\Delta h_i = elev_i - [h + (\sqrt{(coordx_i - coordx_{ndb})^2 + (coordy_i - coordy_{ndb})^2} - r) \times \frac{H}{200}]$$

Superfície do auxílio VOR

Essa superfície é semelhante à superfície do DME, com a diferença de que a superfície horizontal fica na altura da base da estrutura do VOR, conforme a Figura 29:

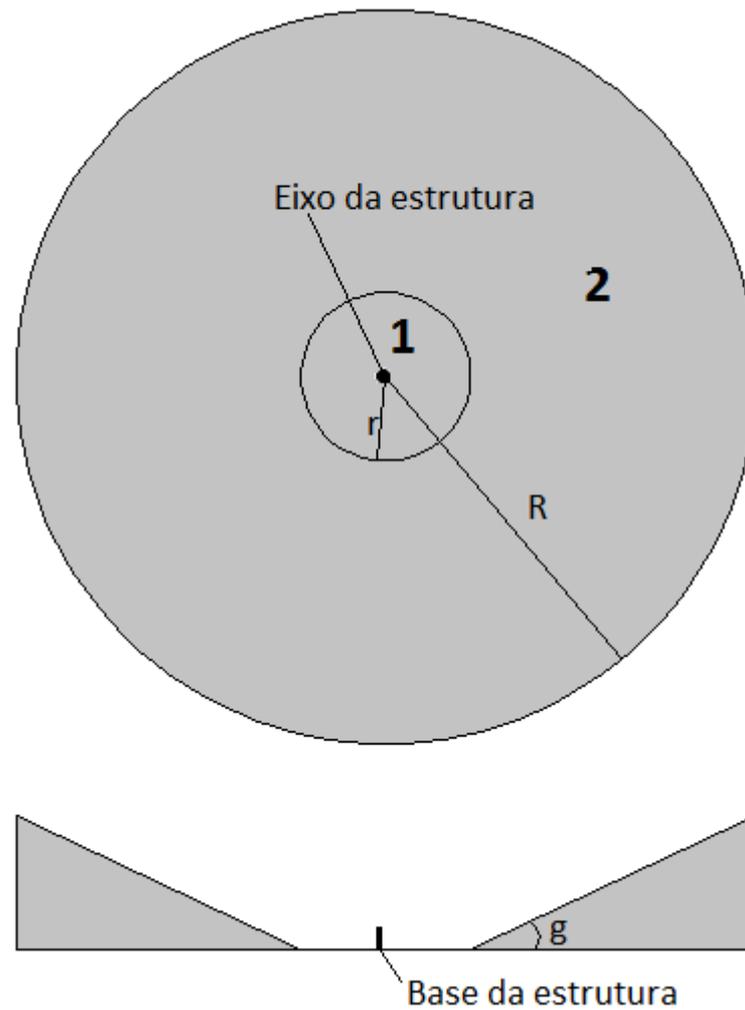


Figura 29- Superfície do auxílio VOR

Parâmetros utilizados:

h = elevação da base da estrutura

r = raio do círculo menor.

R = raio do círculo maior

g = gradiente.

$Coordx_{vor}$ = coordenada x do eixo da antena.

$Coordy_{vor}$ = coordenada y do eixo da antena.

Condições para estar sobre a região 1:

$$(coordx_i - coordx_{vor})^2 + (coordy_i - coordy_{vor})^2 \leq r^2$$

Margem para a região 1:

$$\Delta h_i = elev_i - h$$

Condições para estar sobre a região 2:

$$r^2 \leq (coordx_i - coordx_{vor})^2 + (coordy_i - coordy_{vor})^2 \leq R^2$$

Margem para a região 2:

$$\Delta h_i = elev_i - [h + (\sqrt{(coordx_i - coordx_{vor})^2 + (coordy_i - coordy_{vor})^2} - r) \times g]$$

3.2.3.14 Superfície do auxílio D-VOR

Essa superfície é igual à superfície do auxílio DME, obedecendo às mesmas equações, mudando apenas os valores dos parâmetros.

3.2.3.15 Superfície do auxílio GBAS – VDB

Essa superfície também é igual à superfície do auxílio DME, mudando os valores dos parâmetros.

Superfície do auxílio GBAS – Estação de referência

Superfície igual à superfície do auxílio DME, mudando os valores dos parâmetros.

3.2.3.16 Superfície do auxílio ILS – Localizador

Ela é formada por uma superfície horizontal com formato retangular, envolvendo o eixo das antenas de forma simétrica, com um dos lados na cabeceira de pouso 1, conforme a Figura 30.

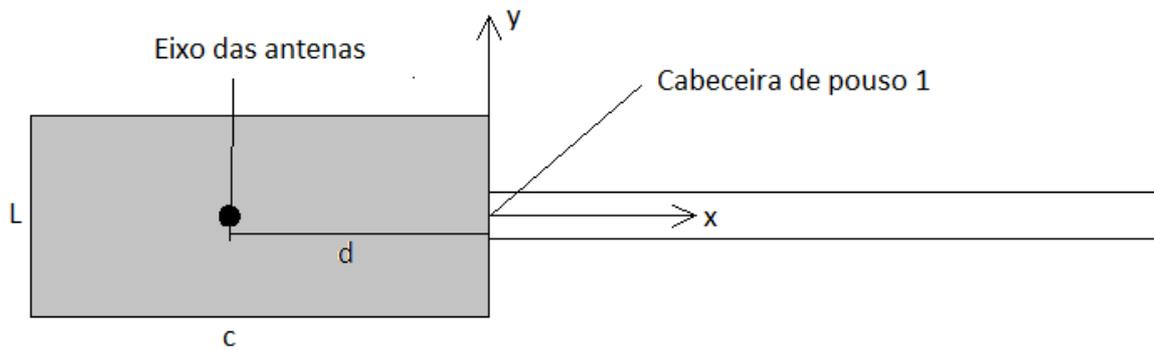


Figura 30 - Superfície ILS - Localizador

Parâmetros utilizados:

d = distância da cabeceira de pouso 1 ao eixo das antenas.

c = comprimento total = $d + 75$ m.

L = Largura total.

h = elevação da base das antenas

$Coordx_{loc}$ = coordenada x do eixo das antenas.

$Coordy_{loc}$ = coordenada y do eixo das antenas.

Condições para estar sobre a superfície:

$$-75 - coordx_{loc} + coordx_{cabp1} \leq coordx_i \leq coordx_{cabp1}$$

Margem para a superfície:

$$\Delta h_i = elev_i - h$$

4 RESULTADOS

4.1 Transformação de coordenadas UTM-GEO

O algoritmo utilizado para transformar coordenadas UTM em geográficas, e vice-versa, foi obtido do Programa CONVUTMGEO de autoria de Felix Jr. De Melo [2], disponibilizado gratuitamente da internet. Ele é baseado no datum WGS84. Ele é modelo matemático que define a Terra como um elipsoide. Esse elipsoide possui eixo equatorial igual a 6378137 m e eixo polar igual a 6356752.3142 m. O algoritmo encontra-se no Anexo C. Para testar consistência, fez-se uma comparação dos valores fornecidos por ele com os valores fornecidos pelo Google Earth, aplicativo da Google que também utiliza o WGS84. A Tabela 5 contém valores de coordenadas geográficas aleatórias, e seus valores em UTM fornecidos pelo algoritmo e pelo Google Earth.

Tabela 5 - Diferenças algoritmo – Google Earth

Lat G	Lat M	Lat S	Long G	Long M	Long S	Algoritmo		Google Earth		Diferença Lat UTM (m)	Diferença Long UTM (m)
						Lat UTM (m)	Long UTM (m)	Lat UTM (m)	Long UTM (m)		
6	19	4,88	43	17	6,98	9301328	689683	9301328	689683	0	0
16	6	21,82	43	45	11,10	8218930	633348	8218930	633348	0	0
20	11	43,59	53	1	56,81	7765590	287625	7765590	287625	0	0
11	52	16,54	54	26	25,83	8686400	778841	8686400	778841	0	0
4	44	2,11	51	42	54,16	9476707	420701	9476707	420701	0	0

O Google Earth fornece o resultado em metros, sem casas decimais. Pela Tabela 5, observa-se que, arredondando para metros o valor das coordenadas fornecidos pelo algoritmo, para unidades dos segundos com duas casas decimais, obtém-se uma diferença nula em metros. Portanto, caso o usuário queira como dados de entrada coordenadas geográficas, se ele imputar os segundos com duas casas decimais, terá uma precisão da ordem de metros.

4.2 Teste – Aeroporto de Mossoró

Realizou-se um teste com o aeroporto de Mossoró, e obstáculos fictícios. Os seguintes dados de entrada da pista foram imputados:

Número-código: 3.

Letra-código: B.

Elevação: 23,1648 .

Latitude da cabeceira de pouso 1: S 5°11'38''.

Longitude da cabeceira de pouso 1: W 37°21'37''.

Elevação da cabeceira de pouso 1: 18,288 m.

Operação da pista de pouso 1: IFR (não precisão).

Latitude da cabeceira de pouso 2: S 5°12'37''.

Longitude da cabeceira de pouso 2: W 37°22'04''.

Elevação da cabeceira de pouso 2: 23,1648 m.

Operação da pista de pouso 2: IFR (não precisão);

Latitude da cabeceira de decolagem 1: S 5°11'38''.

Longitude da cabeceira de decolagem 1: W 37°21'37''.

TORA da pista de decolagem 1: 2000 m.

Latitude da cabeceira de decolagem 2: S 5°12'37''.

Longitude da cabeceira de decolagem 2: W 37°22'04''.

TORA da pista de decolagem 2: 2000 m.

Ponto interno 1: 650 m de distância e 21,0312 de elevação.

Ponto interno 2: 750 m de distância e 20,1168 de elevação.

Já a Tabela 6 contem os obstáculos que foram imputados.

Tabela 6 - Obstáculos imputados

Obstáculo	N/S	Graus	Minutos	Segundos	W/E	Graus	Minutos	Segundos	Elevação (m)
1	S	5	10	58,20	W	37	21	12,30	58,14
2	S	5	10	54,90	W	37	21	14,20	62,02
3	S	5	10	51,40	W	37	21	18,90	57,72
4	S	5	10	10,13	W	37	21	25,90	48,11
5	S	5	10	52,80	W	37	21	18,90	30,58
6	S	5	10	37,50	W	37	21	34,10	48,43

Os auxílios não foram inclusos neste teste. A tabela 7 mostra o relatório gerado neste teste. A primeira linha corresponde ao obstáculo 1, a segunda ao 2 e assim por diante.

Tabela 7 - Tabela de resultados

Obstáculo	Nome	Coord. X (m)	Coord. Y (m)	SA 23 (m)	SA 05 (m)	SAi 23 (m)	SAi 05 (m)	ST (m)	SH (m)	SC (m)	SD 23 (m)	SD 05 (m)
1	Edifício	-1428	181	8,6	-	-9	-	-	-	-	-	8,7
2	Edifício	-1496	86	10,1	-	-6,1	-	-	-	-	-	10,2
3	Edifício	-1533	90	5	-	-10,4	-	-	-	-	-	5,2
4	Edifício	-920	-46	7,7	-	-20	-	-	-	-	-	7,8
5	Edifício	2626	-214	-	0,8	-37,5	-	-	-	-	-	-
6	Edifício	5754	701	-	-47,1	-19,7	-	-	-	-	-	-

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MINISTÉRIO DA DEFESA, COMANDO DA AERONÁUTICA, Portaria N° 256/GC5, de 13 de maio de 2011.

MELO, Felix Junior de, Programa Conversão de Coordenadas Geográficas – UTM, 2006

www.carto.eng.uerj.br, acesso em 20, de agosto de 2012, às 15:35:10.

ANEXO A

ALGORÍTMO PARA TRANSFORMAÇÃO DE COORDENADAS UTM-
GEO

• De UTM para Geográfica:

$$g = 6378137;$$

$$h = 6356752.31424518;$$

$$i0 = \text{raiz}(g \cdot g - h \cdot h) / g;$$

$$j = \text{raiz}(g \cdot g - h \cdot h) / h;$$

$$k = j \cdot j;$$

$$L = g \cdot g / h;$$

$$c1 := \text{Longitude UTM}$$

$$c2 = \text{Latitude UTM}$$

$$h2 = c2 - 10000000;$$

$$c3 = \text{fuso};$$

$$g2 = c3 \cdot 6 - 183;$$

$$g1 = h2 / (6366197.724 \cdot 0.9996);$$

$$h1 = (1 / \text{raiz}(1 + k \cdot \text{Cos}(g1) \cdot \cos(g1))) \cdot 0.9996;$$

$$i1 = (c1 - 500000) / h1;$$

$$j1 = \text{sen}(2 \cdot g1);$$

$$k1 = j1 \cdot \cos(g1) \cdot \cos(g1);$$

$$l1 = g1 + j1 / 2;$$

$$m = (3 \cdot l1 + k1) / 4;$$

$$n = (5 \cdot m + k1 \cdot \cos(g1) \cdot \cos(g1)) / 3;$$

$$o = (3/4) \cdot k;$$

$$p = (5/3) \cdot o \cdot o;$$

$$q = (35/27) \cdot o \cdot o \cdot o;$$

$$r = 0.9996 \cdot 1 \cdot (g1 - (o \cdot l1) + (p \cdot m) - q \cdot n);$$

$$s = (h_2 - r) / h_1;$$

$$t = k \cdot i_1 \cdot i_1 / 2 \cdot \cos(g_1) \cdot \cos(g_1);$$

$$u = i_1 \cdot (1 - t / 3);$$

$$v = s \cdot (1 - t) + g_1;$$

$$w = (\exp(u) - \exp(-1 \cdot u)) / 2;$$

$$x = \arctan(w / \cos(v));$$

$$y = \arctan(\cos(x) \cdot \sin(v) / \cos(v));$$

$$h_3 = (x / \pi) \cdot 180 + g_2;$$

$$j_2 = g_1 + (1 + k \cdot \cos(g_1) \cdot \cos(g_1) - (3/2) \cdot k \cdot \sin(g_1) \cdot \cos(g_1) \cdot (y - g_1)) \cdot (y - g_1);$$

$$h_4 = j_2 / \pi \cdot 180;$$

$$c_4 = \text{parte_inteira}(h_3);$$

$$d_4 = \text{parte_inteira}((h_3 - c_4) \cdot 60);$$

$$e_4 = (((h_3 - c_4) \cdot 60) - d_4) \cdot 60;$$

$$c_5 = \text{parte_inteira}(h_4);$$

$$d_5 = \text{parte_inteira}((h_4 - c_5) \cdot 60);$$

$$e_5 = (((h_4 - c_5) \cdot 60) - d_5) \cdot 60;$$

$$\text{longitude_graus} = \text{valor_absoluto}(c_4);$$

$$\text{longitude_minutos} = \text{valor_absoluto}(d_4);$$

$$\text{long_longitude_segundos} = \text{valor_absoluto}(e_4);$$

Se $h_3 > 0$ então tem-se Leste, senão tem-se Oeste.

$$\text{Latitude_graus} = \text{valor_absoluto}(c_5);$$

$$\text{Latitude_minutos} = \text{valor_absoluto}(d_5);$$

$$\text{Latitude_segundos} = \text{valor_absoluto}(e_5);$$

Se $h_4 > 0$ então tem-se Norte, senão tem-se Sul.

- **De Geográfica para UTM:**

$$g = 6378137;$$

$$h = 6356752.31424518;$$

$$i0 = \text{raiz}(g * g - h * h) / g;$$

$$j = \text{raiz}(g * g - h * h) / h;$$

$$k = j * j;$$

$$L = g * g / h;$$

$$c = \text{longitude_graus};$$

$$d = \text{longitude_minutos};$$

$$e = \text{longitude_segundos};$$

$$c1 = \text{latitude_graus};$$

$$d1 = \text{latitude_minutos};$$

$$e1 = \text{latitude_segundos};$$

Se tem-se Oeste, então $g1 = -1 * (c + d/60 + e/3600)$, senão tem-se que $g1 = (c + d/60 + e/3600)$;

Se tem-se Sul, então $g2 = -1 * (c1 + d1/60 + e1/3600)$, senão tem-se que $g2 = (c1 + d1/60 + e1/3600)$;

$$h1 = g1 * 3.14159265358979 / 180;$$

$$h2 = g2 * 3.14159265358979 / 180;$$

$$i1 = \text{parte_inteira}(g1 / 6 + 31);$$

$$j1 = 6 * i1 - 183;$$

$$k1 = h1 - ((j1 * 3.14159265358979) / 180);$$

$$L1 = \cos(h2) * \text{sen}(k1);$$

$$m = 0.5 * \ln((1 + i1) / (1 - i1));$$

$$n = \arctan(\text{sen}(h2) / \cos(h2) / \cos(k1)) - h2;$$

$$o = (L / \text{raiz}(1 + k * \cos(h2) * \cos(h2))) * 0.9996;$$

$$p = k/2 * m * m * \cos(h2) * \cos(h2);$$

$$q = \text{sen}(2 * h2);$$

$$r = q * \cos(h2) * \cos(h2);$$

$$s = h2 + q/2;$$

$$t = (3 * s + r) / 4;$$

$$u = (5 * t + r * \cos(h2) * \cos(h2)) / 3;$$

$$v = (3/4) * k;$$

$$w = (5/3) * v * v;$$

$$x = 35/27 * v * v * v;$$

$$y = 0.9996 * L * (h2 - (v * s) + (w * t) - (x * u));$$

$$\text{longitude_utm} = m * o * (1 + p/3) + 500000;$$

se tem-se Sul, então $\text{latitude_utm} = n * o * (1 + p) + y + 10000000$ senão, tem-se que

$$\text{latitude_utm} = n * o * (1 + p) + y;$$

$$\text{fuso} = i1;$$

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO <p style="text-align: center;">TC</p>	2. DATA <p style="text-align: center;">26 de novembro de 2012</p>	3. REGISTRO N° <p style="text-align: center;">DCTA/ITA/TC-135/2012</p>	4. N° DE PÁGINAS <p style="text-align: center;">68</p>
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Desenvolvimento de aplicativo para análise automática de violações ao plano básico de zona de proteção de aeródromos.			
6. AUTOR(ES): Mikhail Said de Castro			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: Zonas de proteção, Aeródromo, Aplicativo.			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Aeroportos; Sistemas de segurança; Proteção; Programas de aplicação(computadores); Auxílios a navegação; Computação; Engenharia aeronáutica.			
10. APRESENTAÇÃO: X Nacional Internacional ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientador: Carlos Muller. Publicado em 2012.			
11. RESUMO: Os aeródromos brasileiros possuem uma série de normas de segurança que visam a proteção dos passageiros, pessoas que trabalham nos aeroportos e que moram nas vizinhanças dos aeroportos.. O Plano Básico de Zona de Proteção é um exemplo. Ele consiste de superfícies imaginárias as quais supostamente não podem ser penetradas por nenhum obstáculo. Detectar se um determinado obstáculo está infringindo as zonas de proteção é uma tarefa trabalhosa se feita a mão. Com isso, este trabalho visa o desenvolvimento de um aplicativo que automatize esse processo, evitando erros e economizando tempo. O aplicativo foi desenvolvido com o software Delphi®, que utiliza linguagem Pascal orientada a objetos. Foram contempladas as superfícies de segurança usuais, mais as zonas livres de obstáculo e as superfícies de proteção dos auxílios de navegação.			
12. GRAU DE SIGILO: (X) OSTENSIVO () RESERVADO () CONFIDENCIAL () SECRETO			