

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOMÁTICA**

**ELABORAÇÃO DE FERRAMENTA EM SOFTWARE
PARA MENSURAÇÃO DOS IMPACTOS DE
LANÇAMENTO AÉREO DE BOMBAS NO
ESTANDE DE SAICÃ-RS**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

Márcio Mineiro Pimenta

Santa Maria, RS, Brasil.

2010

**ELABORAÇÃO DE FERRAMENTA EM SOFTWARE PARA
MENSURAÇÃO DOS IMPACTOS DE LANÇAMENTO AÉREO
DE BOMBAS NO ESTANDE DE SAICÃ-RS**

Márcio Mineiro Pimenta

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geomática, Área de Concentração em Tecnologia da Geoinformação, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Geomática.**

Orientador: Prof. Dr. Elódio Sebem

Santa Maria, RS, Brasil.

2010

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Geomática**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Monografia de Especialização**

**ELABORAÇÃO DE FERRAMENTA EM SOFTWARE PARA
MENSURAÇÃO DOS IMPACTOS DE LANÇAMENTO AÉREO DE
BOMBAS NO ESTANDE DE SAICÃ-RS**

elaborada por
Márcio Mineiro Pimenta

como requisito parcial para obtenção do grau de
Especialista em Geomática

COMISSÃO EXAMINADORA:

Elódio Sebem, Dr.
(Presidente/Orientador)

Argentino José Aguirre, M Sc. (UFSM)
(Co-orientador)

Adão Robson Elias, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 14 de outubro de 2010.

“Três classes de pessoas que são infelizes:

A que não sabe e não pergunta,

A que sabe e não ensina,

A que ensina e não faz.”

V. Beda

DEDICO

Aos meus filhos, Letícia e Marcos, que tornam
minha vida cada dia mais feliz.

AGRADECIMENTOS

À Deus por conceder-me vida, saúde e família.

Aos meus pais, José, in memoriam, e Clarídia, pela luta, esforço e dedicação em mostrar-me a importância da educação.

A minha esposa Lizandra, pela compreensão, companheirismo e incentivo, indispensáveis para esta conquista.

Aos meus filhos Letícia e Marcos, que me inspiram e tornam a minha vida cada dia mais feliz.

Ao Prof. Dr. Elódio Sebem, meu orientador, ao Prof. Ms. Argentino José Aguirre, meu co-orientador, e em especial ao Ms. Adenilson Farias Zanini, pela colaboração neste estudo, acima disto, um excelente colega de trabalho e ao Prof. Dr. Adão Robson Elias.

Ao Acadêmico João Henrique Quoos, do Curso de Geografia da UFSM, pela colaboração nas pesquisas e desenvolvimento das ideias para a captura das imagens.

Ao Sargento Humberto Boeira Poetini pelas ideias e pelo desenvolvimento, em linguagem CANVAS, da ferramenta utilizada no presente trabalho.

Aos meus comandantes e chefes, do 1º/10º GAV, que me possibilitaram a oportunidade deste curso, bem como aos demais colegas da Unidade, em especial ao colega de trabalho Paulo Gilvane da Costa.

Ao Comando da Aeronáutica que mantém convênio com a UFSM, via Ministério da Educação, possibilitando o intercâmbio de conhecimento entre os integrantes destas instituições.

Aos demais familiares e amigos, pela amizade e incentivos prestados.

RESUMO

Monografia de Especialização
Programa de Pós-graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria

ELABORAÇÃO DE FERRAMENTA EM SOFTWARE PARA MENSURAÇÃO DOS IMPACTOS DE LANÇAMENTO AÉREO DE BOMBAS NO ESTANDE DE SAICÃ-RS

Autor: Márcio Mineiro Pimenta

Orientador: Prof. Dr. Elódio Sebem

Co-orientador: Prof. M Sc. Argentino José Aguirre

Local e data da defesa: Santa Maria, 14 de outubro de 2010.

Com vistas a facilitar a mensuração para a validação dos bombardeios de exercícios no estande de Saicã – RS, realizados pelas aeronaves de ataque sediadas na Base Aérea de Santa Maria, utilizou-se a Geomática como fundamento científico para o estudo e avaliação das distâncias obtidas pelos visores binoculares na área de exercício dos bombardeios sobre o alvo de dimensões conhecidas. Com a aeronave RA-1 equipada com a câmara ZEISS TRb 60/24, utilizada pelo 1º/10º Grupo de Aviação, Esquadrão de Reconhecimento Tático da Força Aérea Brasileira, foi sensoriada a área de estudo para verificação das distâncias e posicionamento do alvo em relação as duas torres de observação que são usadas para a observação e cômputo dos impactos. Tais impactos foram representados neste estudo por pontos de apoio. Após estudos sobre a geometria do alvo, foi possível elaborar um software para a mensuração dos impactos e posicionamentos dos mesmos em relação a um ponto considerado: centro do alvo. Comparando as dimensões tiradas no terreno e as obtidas pelo software, verificou-se que todos os pontos corresponderam às medidas de distâncias e direções dos impactos.

Palavras-chave: Bombardeio. Geomática. Impacto. Pontos de controle.

ABSTRACT

Monograph of Expertise
Post-Graduation Course in Geomatics
Universidade Federal de Santa Maria

SOFTWARE DEVELOPMENT TOOL FOR MEASURING THE IMPACTS OF LAUNCH AIR PUMP BOOTH SAICÃ-RS

Author: Márcio Mineiro Pimenta

Advisor: Prof. Dr. Elódio Seben

Co-leader: Prof. Ms. Argentino José Aguirre

Local and date of defense: Santa Maria, October 14, 2010.

With a view to facilitate the measurement for the validation of bombing exercises in the stand of Saicã – RS, performed by aircraft of attack based in Airbase in Santa Maria, used Geomatics as the scientific basis for the study and evaluation the distances obtained by binoculars displays in the area of exercise of bombing on the target of known size. With the aircraft RA-1 equipped with the camera ZEISS TRb 60/24, used by 1st/10st Group of Aviation, Squadron Recognition Tactic of Brazilian Air Force, was sensed the study area for verification of distances and positioning of the target for the two towers of observation which are used for the observation and calculation of impacts. Such impacts are represented by control points in this study. After reviewing the target geometry, it was possible to develop software for the measurement of impacts and positioning of ourselves in relation to a point considered: center of target. Comparing the dimensions taken in the field and those obtained by the software, it was found that all the points correspond to measurements of distances and directions of impacts.

Keywords: Bombard. Geomatics. Impact. Control points.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Medições no terreno e pelo Software	40
------------------------------------------------------	----

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Espectro eletromagnético	20
FIGURA 2 - Faixas do espectro eletromagnético	22
FIGURA 3 - Decomposição da luz branca.....	22
FIGURA 4 - Partes da câmara aérea	26
FIGURA 5 - Diafragmas	27
FIGURA 6 - Obturador de lâminas	27
FIGURA 7 - Obturador de plano focal.....	27
FIGURA 8 - Câmara aérea ZEISS TRb 60/24	28
FIGURA 9 - Rumo Verdadeiro e Magnético	29
FIGURA 10 - Proa.....	30
FIGURA 11 – Plano cartesiano	31
FIGURA 12-a - Vetores \vec{u} e \vec{v}	32
FIGURA 12-b – Ângulo entre vetores	32
FIGURA 13-a – Torre 1	35
FIGURA 13-b – Torre 2	36
FIGURA 14 – Visor binocular	36
FIGURA 15 – Área de Saicã - RS.....	38
FIGURA 16-a - Visada do alvo pela Torre 1	39
FIGURA 16-b - Visada do alvo pela Torre 2	39
FIGURA 17 – Ecrã.....	40

LISTA DE SIGLAS

AME	Área Média de Eficácia
CIAAR	Centro de Instrução e Adaptação da Aeronáutica
ECP	Erro Circular Provável
EEAR	Escola de Especialistas da Aeronáutica
FAB	Força Aérea Brasileira
GAV	Grupo de Aviação
HTML	Linguagem de Marcação de Hipertexto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFOV	Instantaneous Field of View
Rec Tat	Reconhecimento Tático
REM	Radiação eletromagnética
RM	Rumo Magnético
RV	Rumo Verdadeiro
TO	Teatro de Operações
USAF	Força Aérea dos Estados Unidos

LISTA DE SÍMBOLOS

c	Velocidade da luz
\cos	Cosseno
θ	Ângulo entre vetores
O	Centro
λ	Comprimento de onda
m	Distância ou Medida
m/s	Metro por segundo
ν	Frequência
μ	Mícron
mrad	milirradiano
π	Pi
$ u $	Vetor resultante
u_x	Vetor “x”
u_y	Vetor “y”
Km	Quilômetro
Ft	Pés
H	Hora

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivo geral	14
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1	Força Aérea Brasileira.....	15
2.2	Bombas de aviação e Área vulnerável	16
2.2.1	Definição	16
2.3	Exatidão e Erros aplicados na mensuração	16
2.3.1	Exatidão.....	16
2.3.2	Precisão	16
2.3.3	Erro provável.....	17
2.3.4	Erro Circular Provável (ECP).....	17
2.3.5	Área Média de Eficácia (AME).....	17
2.4	Reconhecimento.....	17
2.5	Sensoriamento remoto	19
2.6	Sistema Sensores.....	23
2.7	Navegação aérea	28
2.7.1	Rumo	29
2.7.1.1	Rumo verdadeiro (RV).....	29
2.7.1.2	Rumo magnético (RM).....	29
2.7.2	Rota	30
2.7.3	Meridiano	30
2.7.4	Proa.....	30
2.8	Plano cartesiano.....	31
2.9	Vetor	31
2.9.1	Reta orientada - eixo.....	31
2.9.2	Segmento orientado.....	31
2.9.3	Segmentos equipolentes	32
2.9.4	Vetor.....	32
2.9.5	Ângulos de dois vetores	32
2.9.6	Sistema cartesiano oblíquo	32
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
3.1	Principais materiais utilizados	34
3.2	Métodos	34

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5 CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1 INTRODUÇÃO

A utilização de lançamento de bombas por via aérea é na guerra moderna um fator importante na estrutura ofensiva e defensiva de pontos vitais de forças beligerantes, a tal ponto de decidir o resultado de conflitos. Os pontos a serem atacados devem ser estudados e relacionados cuidadosamente de modo a obter o melhor resultado com o mínimo de esforço empreendido.

A seleção de um alvo, bem como dos seus pontos vitais é foco de estudo dos altos comandos operacionais que utilizam os esquadrões de reconhecimento, satélites, espões, jornais, internet, dentre outros meios, para obtenção dos dados pretendidos.

Após os levantamentos dos dados e análise criteriosa dos mesmos, o comando planejador estabelece as prioridades dos alvos a serem atacados com armamentos específicos.

Para um bombardeio eficaz, deve-se conhecer a precisão de lançamento das bombas que serão lançadas de suas plataformas, e para se ter esse dado estatístico é necessário o conhecimento dos diversos lançamentos feitos em exercícios operacionais utilizando-se de ferramentas adequadas para a coleta desses dados.

O presente trabalho tem a finalidade de elaborar uma ferramenta em software para colaborar no levantamento dos dados obtidos em exercícios aéreos de campanha no estande de Saicã – RS, na captação dos pontos de impactos das bombas para a mensuração das distâncias e direções em relação a um ponto definido.

Desta forma, foi definido o objetivo a ser alcançado, conforme segue:

1.1 Objetivo geral

Apresentar uma ferramenta em software para determinar a exatidão das distâncias e direções dos impactos das bombas lançadas por aeronaves no estande de Saicã – RS.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Para o entendimento do raciocínio desenvolvido, o avanço e progresso do presente trabalho exigem o conhecimento de alguns conceitos básicos que serão vistos a seguir.

2.1 Força Aérea Brasileira

Segundo o livro Senta a Pua, Lima (1989), através do Decreto-Lei n° 2.961 de 20 de janeiro de 1941 foi criado o Ministério da Aeronáutica, hoje Comando da Aeronáutica (COMAER), vindo a incorporar a Arma de Aeronáutica do Exército e o Corpo de Aviação Naval.

Conforme consta na Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira, Ministério da Defesa (2005), a FAB é o “conjunto de organizações, de instalações, de equipamentos e de pessoal empenhados no cumprimento da missão atribuída ao COMAER”, destinada a defesa da Pátria garantindo os poderes constitucionais, a lei e a ordem.

Segundo Buyers (2004), a FAB recebeu em 1941/1942 auxílio norte-americano para construção de indispensáveis Bases Aéreas ao longo do litoral brasileiro para poder se defender das ameaças provenientes dos países do Eixo, recebendo aviões de guerra e posterior treinamento na adaptação e formação de pilotos militares. Tais pilotos integraram uma unidade volante especial que recebeu a designação de Agrupamento de Aviões de Adaptação, composta de aviões de bombardeio.

Buyers (2004), salienta que tais bombardeios passaram a patrulhar as costas litorâneas brasileiras em busca de submarinos inimigos com a diretiva de que se os aviões fossem hostilizados poderiam revidar. No dia 22 de maio de 1942, precisamente as 14h00min, entre o arquipélago de Fernando de Noronha e as ilhas Rocas, uma aeronave com bombas de 100 libras, após ter sido hostilizada por artilharia antiaérea, executou o primeiro ataque a submarino por avião da Força Aérea Brasileira.

Durante a Segunda Grande Guerra e após a criação do Ministério da Aeronáutica, foi instituído o Primeiro Grupo de Aviação de Caça através do Decreto n° 6.123, de 18 de dezembro de 1943, assinado pelo presidente Getúlio Vargas. A recém criada Unidade, sob a denominação de 1° Esquadrão de Caça Brasileiro (1st Brazilian Fighter Squadron), foi composta de voluntários que combateram o nazismo nos céus da Itália com a aeronave P-47 – Thunderbolt, moderno avião de caça da United States Air Force (USAF) na época, que

transportava oito metralhadoras .50, duas bombas de 500 libras, uma bomba de napalm ou gasolina gelatinosa e seis foguetes 105mm, Lima (1989).

2.2 Bombas de aviação e Área vulnerável

2.2.1 Definição

Segundo o manual de Emprego do Armamento Aéreo - Ministério da Defesa (2002), bomba de aviação é um tipo de munição para ser lançada de uma aeronave destinada a causar danos ao inimigo, consistindo geralmente de um invólucro metálico com perfil aerodinâmico, carregado com substâncias explosivas ou químicas. Foi um dos primeiros artefatos bélicos aéreos utilizados nos grandes conflitos do século passado, cuja utilização foi decisiva no desfecho da II Guerra Mundial, guerra da Coreia, guerra do Vietnã e guerra do Golfo. Entretanto, o poder destrutivo desse armamento utilizado era relativamente baixo, bem como a precisão dos acertos aos diversos objetivos. Com a crescente modernização das aeronaves e dos armamentos utilizados, houve uma mudança radical desse quadro, onde o poder destrutivo aumentou significativamente aliado a precisão “cirúrgica” nos conflitos atuais.

O Manual ainda menciona que a área vulnerável de uma estrutura, isto é, o alvo, é a área dentro da qual uma bomba específica deve atingir.

2.3 Exatidão e Erros aplicados na mensuração

2.3.1 Exatidão

Conforme Ferreira (1986) exatidão é qualidade de exato. O mesmo que acurácia cuja definição é “exatidão de uma operação ou de uma tabela”. “Propriedade de uma medida de uma grandeza física que foi obtida por instrumentos e processos isentos de erros sistemáticos”. Houaiss (2001) define acurácia como “proximidade entre o valor obtido experimentalmente e o valor verdadeiro na medição de uma grandeza física”.

2.3.2 Precisão

Monico (2000) define precisão como a dispersão de um conjunto de observações ou resultados experimentais. Boa precisão está associada a desvio padrão pequeno.

2.3.3 Erro provável

Consta no manual de Emprego do Armamento Aéreo – Ministério da Defesa (2002) que o erro provável é definido como aquele tão verossímil que não será excedido. Uma das medidas que compõe esse erro é o erro circular provável (ECP) ou CEP (do inglês, circular error probable).

2.3.4 Erro Circular Provável (ECP)

Em estatística, o ECP é usado para a medida de precisão e de acordo com manual de Emprego do Armamento Aéreo - Ministério da Defesa (2002), esse erro, medido frequentemente em porcentagem, é definido como um raio de uma área circular ao redor de um ponto dentro do qual 50% das bombas, em média, cairiam. Tal dado visa a dar subsídios no cálculo para o uso do menor número de armamento para se obter o melhor resultado desejado, de acordo com as especificidades dos alvos, das aeronaves e armamentos empregados.

2.3.5 Área Média de Eficácia (AME)

Conforme o manual de Emprego do Armamento Aéreo - Ministério da Defesa (2002), a área média de eficácia de uma bomba é a área sobre a qual o armamento causaria um dano específico a uma determinada estrutura, podendo variar de poucos metros a centenas de metros quadrados.

2.4 Reconhecimento

Para uso de armamento, seja em emprego real ou exercício, faz-se necessário obter os dados do objetivo no qual o item bélico será empregado para a interpretação e informações necessárias e o manual de Emprego do Armamento Aéreo - Ministério da Defesa (2002) considera o reconhecimento como uma atividade de sensoriar, visando a identificação e a descrição de um objetivo.

O manual de Emprego do Armamento Aéreo - Ministério da Defesa (2002) define ainda por objetivo como um alvo de interesse militar, para que uma missão de reconhecimento obtenha informações sobre o mesmo.

Segundo o manual Introdução ao Reconhecimento, do Centro de Instrução e Adaptação da Aeronáutica - CIAARa (2000), foi no século XIX com o uso de balões para visualização do avanço das tropas inimigas, bem como na utilização para o ajuste dos tiros de artilharia, que teve início o Reconhecimento Aéreo. Tal reconhecimento restringia-se a observações visuais e próximas à Linha de Contato (LC) entre as tropas beligerantes. No início do século XX durante a Primeira Guerra Mundial, o avião passou a ser empregado em missões de reconhecimento dando origem ao Reconhecimento Tático (Rec Tat), abrangendo todo o Teatro de Operações (TO). Com o progresso da aviação, o Reconhecimento Aéreo foi mais relevante durante a Segunda Guerra Mundial, executando vários tipos de reconhecimento: visual, fotográfico, eletrônico e meteorológico.

Consta no manual Introdução ao Reconhecimento – CIAARa (2000) que em 24 de junho de 1867 durante a guerra entre a Tríplice Aliança e o Paraguai, balões foram usados por militares brasileiros para observação aérea do território paraguaio, após a invasão do mesmo pelas tropas aliadas. Oitenta e nove anos depois da primeira observação aérea, foi criado, em 1956, o 6º Grupo de Aviação, iniciando a Aviação de Reconhecimento na FAB.

CIAARa (2000) define a missão da Aviação de Reconhecimento como sendo a “obtenção e difusão, em tempo útil, de informações de interesse dos diversos comandos das Forças Similares, através da observação visual, de sensores de imagens permanentes e da detecção eletrônica”.

No emprego de levantamento de áreas e alvos, as unidades de reconhecimento aéreo podem ser definidas em Unidades de Reconhecimento Tático e Unidades de Reconhecimento Estratégico.

As Unidades de Reconhecimento Estratégico geram informações aos comandos com foco na capacidade das nações de empreenderem a guerra e conduzi-la após sua eclosão.

As Unidades de Reconhecimento Tático realizam o levantamento de informações atendendo diretamente aos comandos do TO e das frações de tropas. Sua característica precípua está na capacidade de se desdobrar rapidamente, executando penetrações no território inimigo e operar próximas às forças de superfície. Tais informações devem chegar aos comandos o mais rápido possível em virtude da dinâmica no TO.

O reconhecimento fotográfico é um dos mais eficientes métodos de coleta de informações realizadas por câmaras específicas. Tais informações, são registradas em películas fotossensíveis e sensores digitais.

2.5 Sensoriamento remoto

Avery; Berlin (1992, p.2), conceituam sensoriamento remoto como “uma técnica para obter informações sobre objetos através de dados coletados por instrumentos que não estejam em contato físico com os objetos investigados.” Tal afirmação não limita o conceito ao uso de plataformas, estendendo a definição a sensores colocados diretamente no solo. Da mesma forma que Marchetti & Garcia (1989) que conceituam sensoriamento remoto como sendo a detecção de um objeto sem tocá-lo.

De forma mais ampla, Lopes (2006) conceitua que sensoriar remotamente é perceber à distância, olhando ou ouvindo, sem o contato físico. Tal versão é contestada por Novo (1992), pois segundo a autora, a aceitação desta definição consideraria o telescópio como um instrumento sensor e obviamente seria atribuído à Galilei Galileu a precursão do sensoriamento remoto. No entanto, a pesquisadora é mais específica quanto às conceituações e equipamentos sensores que estudam o ambiente terrestre. Cita a autora:

Novamente torna-se necessário especificar melhor a definição de Sensoriamento Remoto no que diz respeito ao tipo de energia utilizada na transferência de informação do objeto ao sensor. Este é um assunto controvertido. Alguns autores incluem como parte integrante do Sensoriamento Remoto os sensores que operam com energia acústica (sonares, sismógrafos, sismômetros, etc.), com energia gravitacional (gravímetros) ou com energia eletromagnética (radiômetros). Outros restringem a utilização do termo sensores remotos aos equipamentos que operam apenas através da detecção da energia eletromagnética ou radiação eletromagnética (NOVO, 1992, p.2).

Lillesand; Kiefer (1994) afirmam que o cerne do sensoriamento remoto está na sua origem, isto é, na característica intrínseca do ser humano de ver, ouvir e perceber à distância e na sua capacidade de interpretação dos dados armazenados em sua memória.

Conclui-se que a capacidade evolutiva do ser humano é um atributo da natureza, onde sua inteligência inspira-se nela e cria tecnologia baseada nos sensores naturais, mostrando que a capacidade de sensoriar não deve ser tratada como unicamente humana (LILLESAND; KIEFER, 1994).

Figueiredo (2005) atribui o surgimento do sensoriamento remoto à invenção da câmara fotográfica.

Segundo Chuvieco (2000), o termo sensoriamento remoto teve origem na década de sessenta e era definido como qualquer meio de observação remota, sobretudo à aplicação da fotografia aérea que era o meio mais moderno da época. Referente ao mesmo período, a American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS, 2009) caracteriza como

aquele em que houve um grande desenvolvimento de múltiplos sensores, atribuindo a história do sensoriamento remoto ao período anterior à década de sessenta, ligado ao desenvolvimento da fotografia, e outro iniciado a partir dessa data.

Como salienta STEFFEN et al. (1981), há denominações diversas para as radiações eletromagnéticas que variam de acordo com a frequência e o comprimento de onda onde se situam. Tais denominações advêm pela natureza histórica de cada uma delas e outras pelos processos utilizados e origens decorrentes na sua produção. Muitos autores diferem quanto ao intervalo de transição entre as bandas. Entretanto, esta transição é ordenada no meio científico conforme a Figura 1.

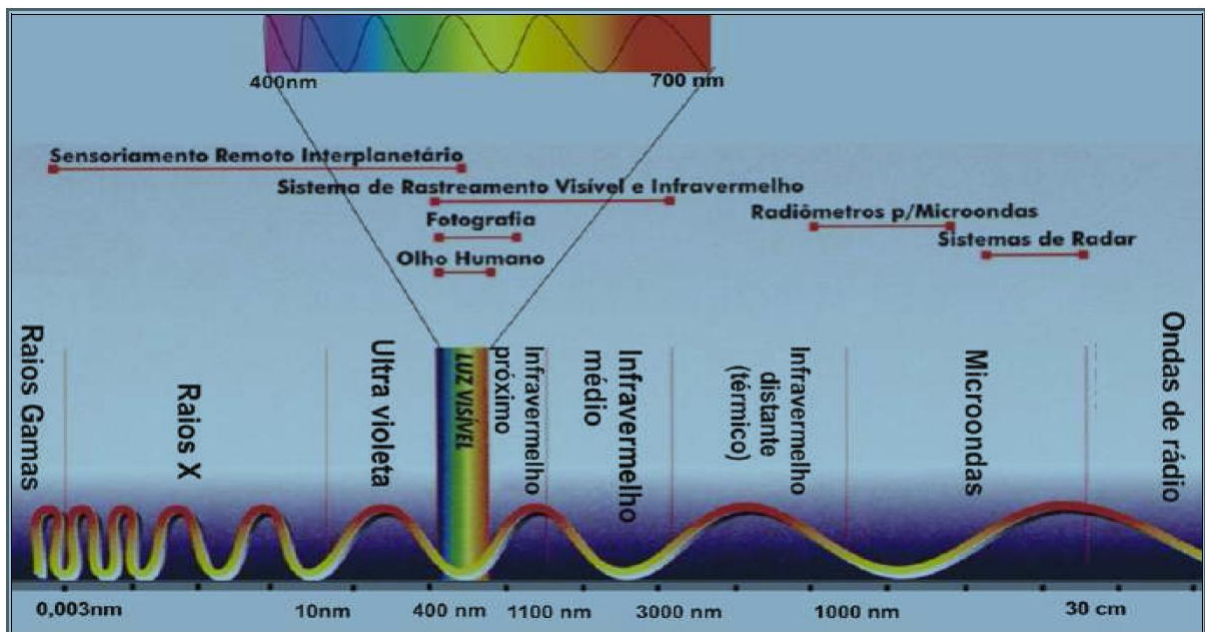


Figura 1 – Espectro Eletromagnético
(Fonte: Figueiredo, 2005, p.6)

Segundo LIU (2006) o sol é a nossa principal fonte de irradiação e as ondas eletromagnéticas viajam através do espaço na velocidade de 3×10^8 m/s (velocidade da luz no vácuo), sendo possível diferenciar uma determinada onda eletromagnética a partir da sua frequência, comprimento de onda e quantidade de energia.

De acordo com CTA (2003) a luz é apenas uma pequena porção da radiação eletromagnética (REM), onde as diferentes formas se assemelham pela natureza fundamental. Neste caso, o que é empregado para a luz também é empregado para a REM. Assim, a REM comporta-se de acordo com a teoria ondulatória, de forma repetitiva e espaçada no tempo, movendo-se com a velocidade da luz e com dois campos: um elétrico e outro magnético que são ortogonais entre si, considerando sua propagação de um ponto a outro. Com este modelo,

pode-se atribuir à radiação eletromagnética três grandezas: comprimento de onda (λ), frequência (ν) e velocidade da luz (c). Estas, relacionam-se de acordo com a equação 1.

$$\boxed{c = \lambda \cdot \nu} \quad (1)$$

Onde:

c = velocidade da luz;

λ = comprimento de onda;

ν = frequência.

Conforme menciona IBGE (1999), a REM apresenta duas características precípuas que são: a frequência que é o número de picos que passam por um determinado ponto em uma unidade de tempo e o comprimento de onda que é a distância entre dois picos consecutivos de ondas eletromagnéticas.

De acordo com Novo (1992) a aceleração de uma carga elétrica no vácuo provoca perturbações no campo elétrico e magnético que são chamadas de ondas eletromagnéticas. Logo, poder-se-á definir ondas eletromagnéticas como oscilações dos campos elétrico e magnético em um padrão harmônico de ondas, repetidamente no tempo.

Halliday et al (2002) salienta que “um raio luminoso é uma onda eletromagnética e que a óptica - estudo da luz visível - é um ramo do eletromagnetismo, cuja fonte predominante é o sol”.

De acordo com IBGE (1999) o comprimento de onda da faixa do visível varia de 0,38 a 0,78 μm .

As faixas do espectro eletromagnético estão definidas na Figura 2 e conforme Marchetti & Garcia (1989) a visão humana é sensível à faixa compreendida entre 0,4 a 0,7 μm do espectro eletromagnético e o filme fotográfico é sensível à faixa do espectro que abrange os raios solares, os quais contêm radiações de comprimentos de onda compreendidos entre 0,3 a 1,2 μm , conforme apresenta a Figura 3.

A luz solar branca é composta por três cores básicas chamadas primárias: azul, verde e vermelho; estas, ficam evidenciadas ao passarem por um prisma, conforme mostra a Figura 3.

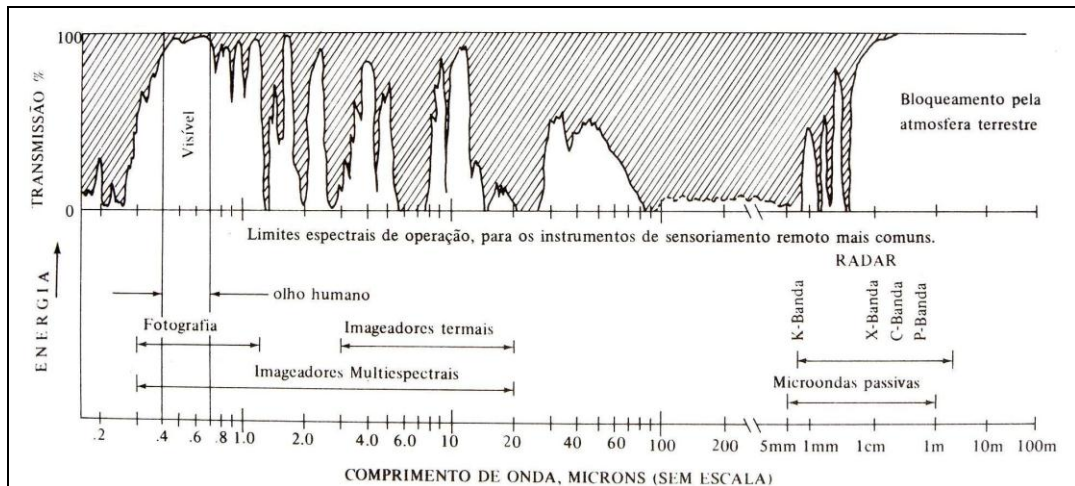


Figura 2 – Faixas do espectro eletromagnético
(Fonte: MARCHETTI & GARCIA, 1989, p.194)

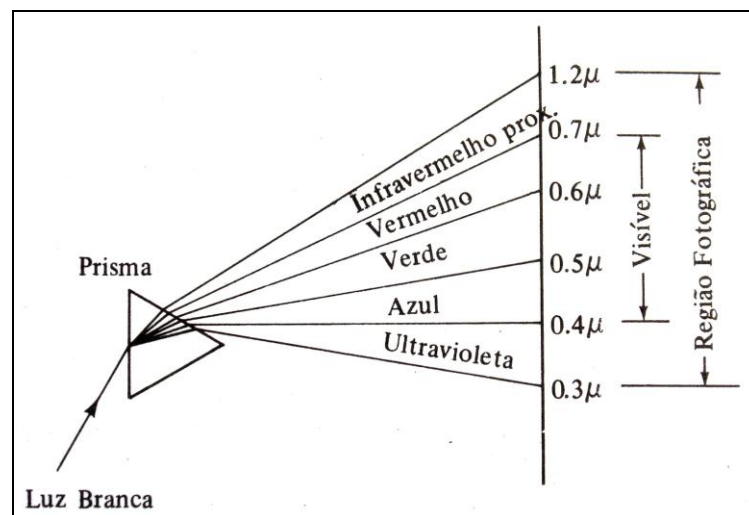


Figura 3 – Decomposição da luz branca
(Fonte: MARCHETTI & GARCIA, 1989, p.196)

Marchetti & Garcia (1989) afirmam que na execução do sensoriamento faz-se uso do sensor remoto e para bom discernimento deste, deve-se entender sobre o espectro eletromagnético. O sensor remoto é capaz de obter os dados nas diferentes partes do espectro eletromagnético, abrangendo inclusive as ondas do espectro visível, ou seja, captadas pela visão humana. Os autores mencionam que a câmara fotográfica foi o primeiro sensor remoto mecânico e o mais comumente utilizado, captando parte das radiações do espectro

eletromagnético, que podem ir do visível ao infravermelho próximo, conforme o filme utilizado.

2.6 Sistemas Sensores

Conforme diz Novo (1992), o sensor é o equipamento capaz de coletar a energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-la posteriormente em forma adequada para extração das informações.

Moreira (2007) classifica sensores como dispositivos capazes de detectar e registrar a radiação eletromagnética gerando informações que possam ser transformadas em produto passível de interpretação. Mencionando que um sistema sensor é constituído basicamente por um coletor e um sistema de registro que pode ser um filme ou outros dispositivos e um processador.

Novo (1992) e Moreira (2007) classificam os sistemas sensores em: Sensores Ativos e Sensores Passivos. Os Ativos, que possuem sua própria fonte de radiação, emitem a radiação e captam o seu reflexo. Os Sensores Passivos, que não possuem sua própria fonte de radiação, captam as radiações refletidas pelos objetos. Estas radiações refletidas são produzidas por outras fontes. Os radares são exemplos de sensores ativos e as câmaras fotográficas de sensores passivos.

De acordo com a classificação de Novo (1992), os sistemas são definidos em: Sensores Imageadores e Sensores Não-imageadores. Os Sistemas Sensores Não-imageadores fornecem apenas registros, na forma de dígitos ou gráficos, do objeto observado. Já os Sistemas Sensores Imageadores fornecem uma imagem do objeto observado. Dentre os imageadores, elenca-se o Sistema Fotográfico.

Para Novo (1992) a resolução é uma mensuração da habilidade que o sistema sensor tem em distinguir objetos que estão próximos espacialmente ou de distinguir respostas que são espectralmente semelhantes. Conceitua a Resolução Espacial como sendo “a menor separação angular ou linear entre dois objetos”, ou seja, quanto maior a resolução espacial, maior é o poder de distinguir objetos muito próximos. No entanto, a Resolução Radiométrica depende da sensibilidade do sistema sensor em captar níveis de cinza, usados para registrar os dados coletados, assim, quanto maior o número de valores de níveis de cinza, maior é a resolução radiométrica.

De acordo com o Manual de Cartografia da Universidade Federal do Paraná - UFPR, a resolução espacial de um detector é expressa em termos do seu Campo Instantâneo de Visada ou IFOV - *Instantaneous Field of View*. O IFOV define a área do terreno focalizada a uma dada altitude pelo instrumento sensor. De uma forma simplificada, o IFOV representa o tamanho do pixel. A resolução espacial de um detector é determinada pela dimensão do IFOV, em mrad (milirad), e pela altitude, distância, do sistema sensor, sendo expressa em metros na superfície do terreno. Um IFOV de 1 mrad ($1 \text{ mrad} = 0,057^\circ$) significa que o elemento de terreno abrangido pelo detector, numa altitude nadir de 1.000 m, tem o tamanho de 1 m, ou seja, na relação de 1 para 1000.

NOVO (1992) apresenta duas formas, processos, de como a energia eletromagnética é detectada, gravada e interpretada: Fotográfica e Eletronicamente.

No processo Fotográfico as reações químicas ocorrem na superfície do filme sensível à luz que é colocado dentro de uma câmara fotográfica para registrar os sinais emitidos pelos objetos, gerando uma imagem. As câmaras fotográficas possuem objetiva, diafragma, obturador, corpo da câmara e magazine.

No Processo Eletrônico ou Eletro-óptico, são gerados sinais eletro-eletrônicos que podem ser convertidos em imagem. Seus componentes básicos são um sistema óptico e um sistema detector.

De acordo com Rocha et al (2007) em 1840 o geodesta francês François Jean Arago incentivou o uso da fotografia para levantamentos topográficos. Entretanto, no ano anterior, 1839, Daguerre divulgou o seu processo (daguerreotípia) e a Academia de Artes e Ciências de Paris tornou-o, no mesmo ano, acessível ao público. Enquanto a química fotográfica evoluía, a parte óptica se desenvolvia com Carl Zeiss em uma pequena oficina mecânica (embora, inicialmente não voltada à Fotogrametria) de precisão para fazer equipamentos para a Universidade de Jena. Posteriormente, tal empresa cresceu tornando-se uma importante fabricante de equipamentos topográficos e fotogramétricos. O primeiro salto qualitativo e quantitativo foi dado no ano de 1849 por um oficial do Corpo de Engenheiros do exército francês chamado Aimé Laussedat, usando a fotografia para auxiliar a confecção de mapas.

As aplicações militares das fotografias começaram a surgir e Nadar (Gaspard Felix Tournachon) usou um balão de oitenta metros de altura para obter a primeira fotografia aérea. E, com o advento do avião no início do século XX, houve um grande desenvolvimento nos trabalhos de mapeamento e reconhecimento e o oficial britânico capitão Tardivo obteve, por um avião, o primeiro registro de fotografia aérea para uso em mapeamento.

Harrell (2009) diz que o princípio da câmara escura é uma invenção anatômica e datada de tempos remotos, sem o conhecimento de quem a inventou exatamente, mas que umas das comprovações mais antigas da sua utilização foi, segundo o historiador alemão Klaus von Hoefel, da observação de um eclipse solar pelo sábio árabe Ibn Al Haitam, na corte de Constantinopla no ano de 1038. Porém, tal princípio já era conhecido na Grécia antiga quando Aristóteles (384-322 A.C.) fez uma descrição da formação de imagens da luz ao passar por pequenos orifícios.

Segundo Marchetti & Garcia (1989), o princípio básico da máquina fotográfica é uma caixa preta com um pequeno orifício por onde passa a luz que sensibiliza uma película fotossensível. Os autores citam que as câmaras terrestres e aéreas têm a mesma função, mas que as aéreas exigem exposições curtas, obturador de alta velocidade (1/2.000 segundos) e filme com grande sensibilidade. Tais exigências são pelo fato das câmaras aéreas estarem em movimento quando das tomadas das fotografias.

Slater (1980 apud NOVO, 1992) comenta que as câmaras métricas possuem um alto grau de correção para as distorções geométricas em virtude serem utilizadas para fins cartográficos. No entanto, as câmaras de reconhecimento apresentam mais distorções em relação às métricas, mas garantem uma ótima fidelidade nos registros radiométricos da superfície, permitindo fotografias com melhor resolução espacial.

Marchetti & Garcia (1989) citam os componentes principais das câmaras aéreas, quais sejam: corpo da câmara, magazine, cone de lentes, obturador, diafragma e filtros, conforme a Figura 4.

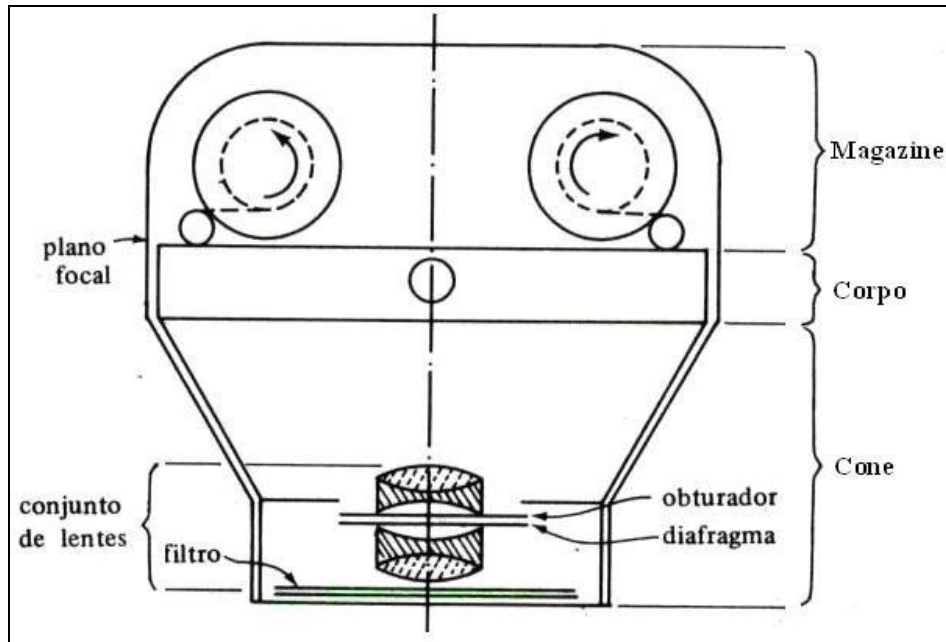


Figura 4– Partes da câmara aérea
(Fonte: MARCHETTI & GARCIA, 1989, p.35, modificado)

O corpo da câmara é onde ficam os componentes mecânicos, elétrico-eletrônicos e de tração do filme. É, também, a parte onde é fixado o cone de lentes e magazine. O magazine é onde ficam abrigados os filmes virgens e expostos.

Segundo HEDGECOE; FORD (1982), as câmaras aéreas podem apresentar o plano focal tanto no magazine quanto no corpo da câmara, sendo o plano focal uma superfície plana sobre a qual a imagem é formada com nitidez.

Sobre cone de lentes, Marchetti & Garcia (1989) mencionam que serve para abrigar o conjunto das lentes da câmara, também conhecido como objetiva da câmara. Nesse conjunto de lentes, encontra-se o diafragma e, de acordo com a marca e modelo de câmara, pode-se encontrar o obturador.

HEDGECOE; FORD (1982) mencionam que o diafragma se assemelha a íris do olho humano, cujo diâmetro varia para controlar a quantidade de luz que atravessa a objetiva e alcança o filme. Os diafragmas são, na maioria das vezes, formados por um conjunto de lâminas metálicas delgadas, conforme a Figura 5.

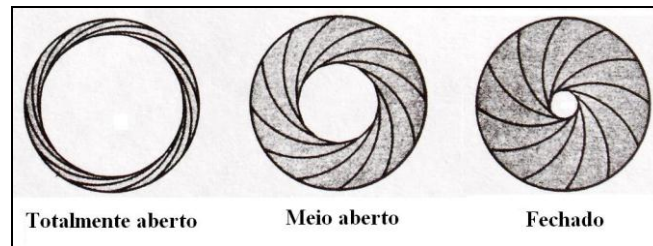


Figura 5 – Diafragmas
(Fonte: HEDGE COE; FORD, 1982, p.11)

Marchetti & Garcia (1989) citam que o obturador tem a função de controlar a luz na câmara. HEDGE COE; FORD (1982) complementam que o obturador é um dispositivo que permite escolher o momento exato da tomada da fotografia, controlando o tempo total da luz incidente sobre o filme, classificando-os em dois tipos: obturador de anel e obturador de plano focal. O obturador de anel é formado por finas lâminas de metal e fica localizado entre lentes, combinado com o diafragma, Figura 6, enquanto que o de plano focal é formado por duas cortinas e fica junto ao plano focal, Figura 7.

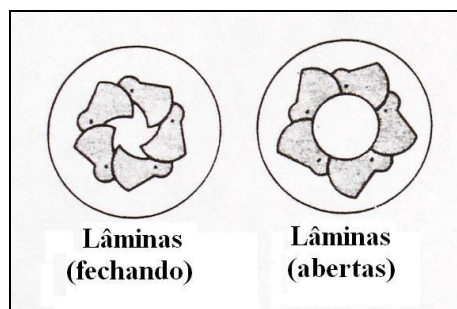


Figura 6 – Obturador de lâminas
(Fonte: HEDGE COE, 1982, p.11)

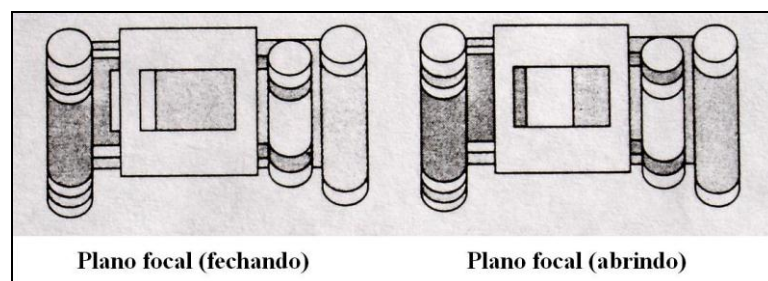


Figura 7 – Obturador de plano focal
(Fonte: HEDGE COE, 1982, p.11)

De acordo com Slater (1983 apud CURRAN, 1986), as câmaras de reconhecimento aéreo têm baixo custo de aquisição e operação em comparação às câmaras métricas; entretanto, apresentam como desvantagem grandes distorções geométricas.

CIAARa (2000) menciona que a câmara de reconhecimento tático faz parte de um sistema sensor de reconhecimento tático que visa o cumprimento de missões de reconhecimento tático, operando a bordo de aeronave adequada a esse tipo de missão. Tal câmara deve ser constituída de materiais resistentes devido as variações das intempéries, devendo possuir alta velocidade de obturação, alta velocidade de tracionamento de filme, distância focal compatível com a altura de voo, entre outras características.

Conforme ZEISS (2006) a Câmara ZEISS TRb 60/24, Figura 8, é uma câmara fotográfica de longo alcance, LONG RANGE HORIZONTAL OBLIQUE VERTICAL – LHOV, possuindo uma objetiva com distância focal de 610mm (24 polegadas) e destinada a missões de reconhecimento tático *Stand Off* (à distância).

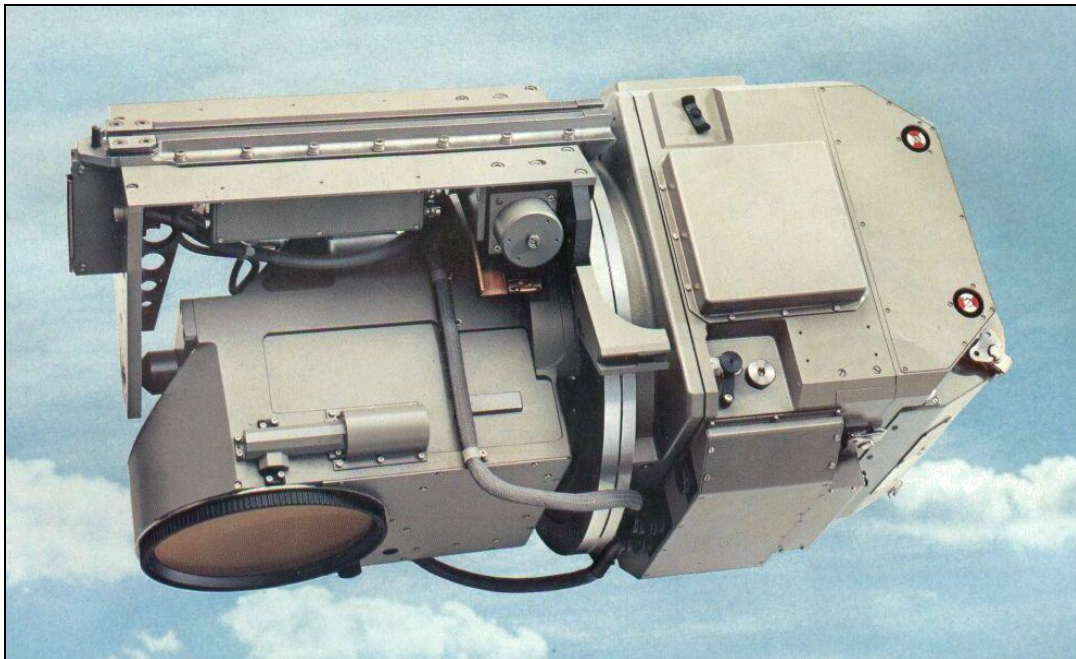


Figura 8 – Câmara aérea ZEISS TRb 60/24
(Fonte: ZEISS, 2006)

2.7 Navegação aérea

De acordo com o manual Navegação Foto, do Centro de Instrução e Adaptação da Aeronáutica - CIAARb (2000), navegação é uma palavra formada pela junção de duas

palavras latinas: “navis” que significa navio e “agere”, processo de dirigir ou mover. Navegação aérea é, em sentido mais restrito, “o processo de determinar-se a posição geográfica e a manutenção de uma direção desejada de uma aeronave, em relação à superfície da Terra”.

2.7.1 Rumo

Conforme CIAARb (2000), rumo é um ângulo que exprime direção. O rumo pode ser verdadeiro ou magnético. Os rumos são medidos de 000° a 360° e no sentido dos ponteiros do relógio.

2.7.1.1 Rumo verdadeiro (RV)

CIAARb (2000) ainda define que rumo verdadeiro “É o ângulo formado entre um meridiano verdadeiro e uma linha de rota”, tomando como ponto de referência para a medição o meridiano verdadeiro, Figura 9.

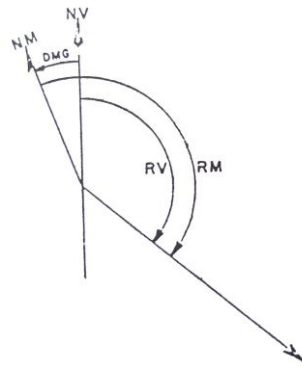


Figura 9 – Rumo Verdadeiro e Magnético
(Fonte: CIAARb, 2000, p.4)

2.7.1.2 Rumo magnético (RM)

Pela de definição de CIAARb (2000) “é o ângulo formado entre um meridiano magnético e uma linha de rota”, tomando meridiano magnético como ponto de referência para medição, Figura 9.

2.7.2 Rota

CIAARb (2000) menciona que as definições de rota são contraditórias, divergindo entre países. No Brasil, define-se rota como “a trajetória descrita por uma aeronave sobre a superfície da terra”. Em Portugal como “caminho percorrido ou caminho a percorrer”. Nos Estados Unidos ou autores contradizem-se, havendo duas definições: - rota (track): “a componente horizontal do atual caminho da aeronave sobre a superfície da terra; e “a componente horizontal do caminho seguido ou a seguir por uma aeronave”.

Logo, o autor define rota como “a trajetória percorrida ou a percorrer, por uma aeronave, sobre a superfície da terra. A exatidão de uma rota percorrida ou de uma rota a percorrer, é expressa pelo seu rumo verdadeiro ou magnético”.

2.7.3 Meridiano

IBGE (2009) menciona que meridianos são círculos máximos que cortam a Terra em duas partes iguais de polo a polo, de modo que todos se cruzam entre si nos polos. O meridiano de origem é o de Greenwich (0°).

2.7.4 Proa

De acordo com CIAARb (2000), proa é o ângulo formado entre um meridiano qualquer e o eixo longitudinal da aeronave, podendo ser chamada de proa verdadeira quando o meridiano de referência for o verdadeiro. Entretanto, sendo considerada a linha norte/sul da bússola, tem-se a proa bússola, Figura 10.

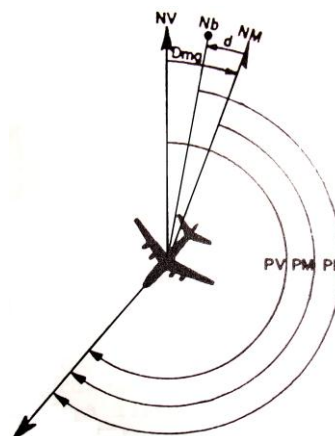


Figura 10 – Proa
(Fonte: CIAARb, 2000, p.10)

2.8 Plano cartesiano

De acordo com SOUZA; SPINELLI (1996), um plano cartesiano é o formado por duas retas orientadas e perpendiculares entre si, com interseção em um ponto que é chamado de origem, sendo a reta horizontal com orientação positiva para a direita a partir da origem e a reta vertical com orientação positiva para cima, também a partir do ponto O. Qualquer ponto encontrado em um dos quadrantes é representado por um par ordenado (x, y) em que o “x” corresponde a abscissa e o “y” a ordenada. O Plano cartesiano é o plano com as retas orientadas que são chamadas de eixos que dividem o plano em quatro quadrantes; estes, são enumerados no sentido anti-horário, FIGURA 11.

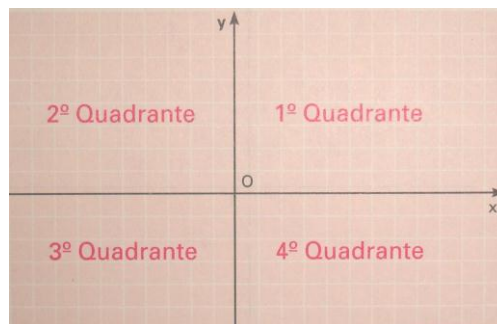


Figura 11 – Plano cartesiano
(Fonte: SOUZA; SPINELLI, 1996, p.61)

2.9 Vetor

2.9.1 Reta orientada – eixo

De acordo com STEINBRUCH; WINTERLE (1987), uma reta é orientada quando nela é fixada um sentido de percurso, sendo indicado por uma seta o sentido positivo.

2.9.2 Segmento orientado

STEINBRUCH; WINTERLE (1987), definem como segmento orientado aquele determinado por um par ordenado de pontos, sendo o primeiro par chamado a origem do segmento e o segundo a extremidade, estando geometricamente indicado por uma seta que caracteriza visualmente o seu sentido.

2.9.3 Segmentos equipolentes

Os autores mencionam que segmentos são equipolentes quando têm a mesma direção, mesmo sentido e mesmo comprimento.

2.9.4 Vetor

STEINBRUCH; WINTERLE (1987) definem vetor como sendo aquele determinado por um segmento orientado AB , formado pelo conjunto de todos os segmentos orientados equipolentes a AB . Logo, um mesmo vetor \overrightarrow{AB} é aquele determinado por uma infinidade de segmentos orientados, sendo denominados de *representantes* desse vetor, e todos equipolentes entre si.

2.9.5 Ângulos de dois vetores

STEINBRUCH; WINTERLE (1987) mostram que o ângulo θ de dois vetores \vec{u} e \vec{v} não nulos, FIGURA 12-a, é o formado pelas semi-retas AO e OB , tal que $0 \leq \theta \leq \pi$, FIGURA 12-b.

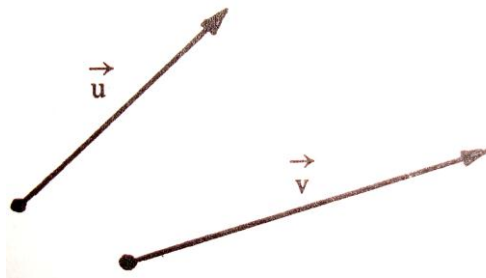


Figura 12-a – Vetores \vec{u} e \vec{v}

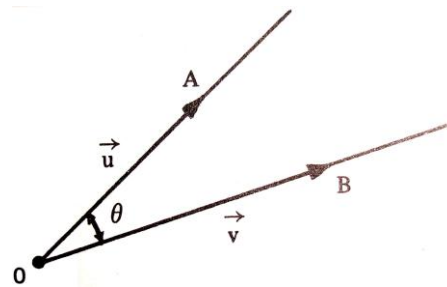


Figura 12-b – Ângulo entre vetores

(Fonte: STEINBRUCH & WINTERLE, 1987, p.12)

2.9.6 Sistema cartesiano oblíquo

Butkov (1983) menciona que em um sistema cartesiano se os eixos formados forem diferentes de 90° , ter-se-á um sistema cartesiano oblíquo, cujos ângulos entre os eixos podem variar de 0° a 180° . E para se medir o comprimento de um vetor plano pode-se usar a lei dos co-senos, de maneira que $|\vec{u}|^2 = u_x^2 + u_y^2 - 2u_x u_y \cos(\pi - \phi) = u_x^2 + u_y^2 - 2u_x u_y \cos \phi$, conforme a equação 2. (p.12).

$$|u| = \sqrt{u_x^2 + u_y^2 - 2u_x u_y \cos \phi}$$

(2)

Onde:

$|u|$ = vetor resultante;

u_x = vetor “x”;

u_y = vetor “y”;

ϕ = ângulo entre os vetores.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Principais materiais utilizados:

- aeronave de reconhecimento RA-1 da Força Aérea Brasileira;
- automóvel corsa sedan classic 1.6;
- automóvel modelo Kombi;
- bússola magnética;
- calculadora, marca CASIO, modelo Fx-82L;
- câmara fotográfica marca SONY, modelo P200, 7.2 MegaPixels, Cybershot;
- câmara ZEISS TRb 60/24 (FIGURA 8);
- área de Saicã-RS (FIGURA 15);
- filme aéreo preto e branco 24cm;
- GPS Etrex, marca GARMIN;
- manual de reconhecimento tático do 1°/10° GA v;
- mesa clara;
- notebook, marca Toshiba satellite, modelo M-205 S-7453, 1,5 GHz, 1G RAM;
- planilha BKS-V4;
- planilha Microsoft Office Excel 2007[®];
- pontos de apoio;
- processadora de filmes aéreos marca COLEX, modelo 1240;
- scanner marca HP, 3600 dpi;
- software Globalmapper[®] versão 11;
- torres de observação (Figuras 16-a e 16-b);
- trena de 50m/164ft, marca Open Reel;
- tubo de escala com lente de aumento de duas vezes; e
- visor binocular, marca WILD, FIGURA 14.

3.2 Métodos

O método apresentado neste trabalho pode ser classificado como: aplicado, qualitativo, descritivo e experimental, de acordo com conceituações apresentadas por Silva; Menezes (2001). Segundo os autores, quanto à natureza a pesquisa é classificada como aplicada quando

gera conhecimentos para aplicações práticas. A abordagem qualitativa é constatada ao se apresentar à relação dinâmica entre o mundo real e os alvos apresentados. Quanto ao objetivo é descritiva, pois busca descrever as características de determinada população e as relações entre variáveis. Quanto aos procedimentos técnicos a pesquisa é experimental com dados intencionais.

O estudo foi desenvolvido visando melhorar o método de mensuração dos bombardeios de exercícios executados no estande de Saicã – RS; este cenário é um dos usados pelos pilotos da Força Aérea Brasileira para treinamentos das missões de ataque. Para o estudo, foi utilizado um dos alvos utilizados no referido estande que é formado por três circunferências concêntricas cujos raios são de 25m, 50m e 100m e que é denominado de “roleta”. O centro da “roleta” é o alvo, o objetivo principal a ser atingido. A partir dos acertos das bombas em relação ao centro, verifica-se o desempenho de cada piloto, bem como os dados para elaboração do erro circular provável (ECP). A roleta é delimitada por pneus e fica situada em uma área arenosa cuja observação é feita por duas torres que distam em relação ao centro do alvo, respectivamente, 733,47m da torre 1, FIGURA 16-a, e 737,61m da torre 2, FIGURA 16-b, formando um ângulo entre elas e o centro do alvo de 90° aproximadamente. As torres possuem 13 m de altura e estão separadas uma da outra de 1040,5m. Dentro de cada torre há um visor binocular (FIGURA 14) que possui uma régua graduada em uma das lentes para permitir a visualização, em cada torre, da separação entre o ponto de queda da bomba e o centro do alvo que é anotado para consulta em uma tabela onde são confrontados os dois dados, obtendo-se a distância e a posição em relação ao centro do alvo. Salienta-se que o eixo de passagem é na proa verdadeira de 160° que é o mesmo eixo de alinhamento das duas torres de observação.



Figura 13-a – Torre 1



Figura 13-b – Torre 2



Figura 14 – Visor binocular

Após se deslocar de automóvel para a área de estudo, em 28 OUT 2009, foram obtidas as coordenadas geodésicas de vinte e dois pontos da área com aparelho GPS Etrex, marca GARMIN.

Um fator importante e que influencia no planejamento de qualquer missão de reconhecimento de um alvo é a condição meteorológica. Com o prognóstico do tempo favorável, foi feito o planejamento para fotografar a área de estudo utilizando-se o Manual de

Reconhecimento Tático do 1°/10° GAV e a planilha BKS-V4, do Excel, para os cálculos dos parâmetros de voo da aeronave RA-1: altura de voo, afastamento do alvo, porcentagem de recobrimento, dimensões da área no solo abrangida pela imagem, razão V/H, quantidade de quadros por segundo.

O sensoriamento para a medição e estudo do alvo foi realizado por aeronave RA-1 da Força Aérea Brasileira (FAB). O voo ocorreu a uma altura de 4.270 metros (14.000 pés) em uma faixa única na proa verdadeira de 160° no dia 10 de outubro de 2009 às 15h36min. O Sistema Sensor utilizado foi a câmara ZEISS TRb 60/24, cujo filme preto e branco foi processado pela processadora de filmes aéreos marca COLEX, modelo 1240. A área do trabalho está contida entre os pontos de coordenadas extremas: 29°52'53''S/54°56'26''W, 29°52'46''S/54°55'29''W, 29°53'29''S/54°56'12''W e 29°53'11''S/54°55'15''W.

Os dados de distâncias foram adquiridos pelo setor de Material Bélico da Base Aérea de Santa Maria, complementados pela análise do fotograma obtido pelo voo da aeronave RA-1 do 1°/10° GAV. A análise foi feita em mesa clara, com tubo de escala com lente de aumento de duas vezes e calculadora marca CASIO, modelo fx-82L.

Após análise e separação do filme, foi feito o escaneamento do negativo para transformação da imagem analógica em dado digital e posterior georreferenciamento do fotograma com o software Globalmapper® versão 11, no Datum horizontal WGS-84, FIGURA 15.



Figura 15 – Área de Saicã - RS

A imagem apresenta a área do trabalho, destacando o alvo e os pontos de observação, conforme descrito em legenda. A área imageada localiza-se a 8 km a oeste da cidade de Cacequi, município que está situado à 100 km WSW da cidade de Santa Maria no estado do Rio Grande do Sul.

As torres de observação, FIGURAS 16-a e 16-b, têm 13m de altura e possuem um visor binocular, marca WILD (FIGURA 14), com uma graduação em uma das lentes, dividindo a área do alvo, roleta, em quatro quadrantes. O alvo foi fotografado, através das lentes do visor binocular, com a câmara fotográfica marca SONY, modelo P200, 7.2 MegaPixels, Cybershot, para mostrar exatamente como é visualizado, FIGURAS 16-a e 16-b.

O visor é posicionado de modo que as marcações horizontais de número 70 coincidam com as extremidades da circunferência de raio de 50m, de modo que cada subdivisão, por regra de três simples e direta, corresponda aproximadamente a 0,71m.



Figura 16-a – Visada do alvo pela Torre 1



Figura 16-b – Visada do alvo pela Torre 2

Foram demarcadas seis posições dentro da roleta com a utilização de pontos de apoio para simulação dos impactos das bombas aéreas. As bombas utilizadas são artefatos bélicos inertes que ao atingir o solo, alvo, liberam uma fumaça para a visualização do ponto de impacto.

As distâncias dos pontos de apoio no terreno foram medidas, em relação ao centro do alvo, com trena de 50m/164ft, marca Open Reel, e bússola magnética para verificação da direção correspondente.

Após as medidas tiradas na área do alvo, foram feitas as observações pelos visores binoculares situados nas torres de observação, dos seis pontos de apoio e anotados os valores, conforme tabela 1.

TABELA 1 – Medições no terreno e pelo Software

Ponto	Distância ao centro do alvo (m)	Posição (h)	Leitura torre 1	Leitura torre 2	Exatidão do impacto (m)	Posição pelo software (h)
01	41	1,5	+1	+57	40,72	1,5
02	40	4,5	-55	-1	39,29	4,5
03	29	9,5	+34	-20	28,18	9,5
04	38	10,5	+52	0	37,14	10,5
05	38	6	-38	-37	37,8	6
06	37	8	13	-50	36,9	8

Em posse dos dados do setor de Material bélico da Base Aérea de Santa Maria-RS quanto às distâncias da área de estudo e da obtenção das imagens aéreas feita pelo aerolevanteamento, foi desenvolvida uma ferramenta em software, em linguagem HTML, para facilitar a verificação da distância e posicionamento dos impactos das bombas de exercício em relação ao centro do alvo no eixo de ataque de 160° de proa verdadeira. Tal software é melhor utilizado no Mozilla Firefox, por ser um navegador livre e de multiplataforma. De modo a facilitar e agilizar a obtenção dos dados, foi representado um ecrã com similaridade a área do alvo, FIGURA 17.

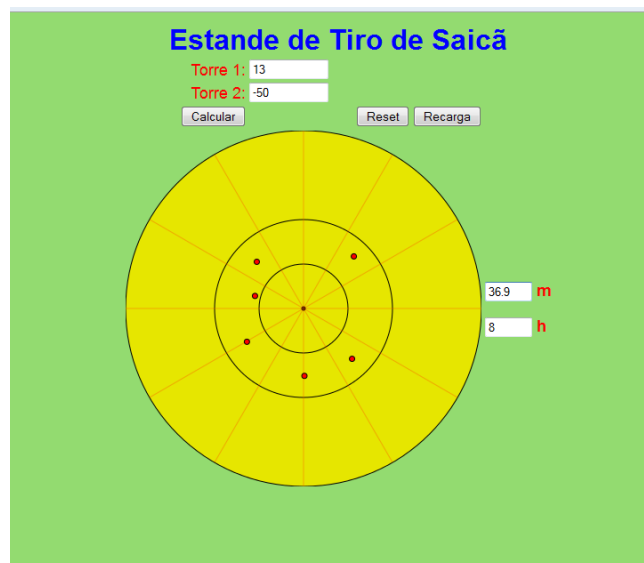


Figura 17 – Ecrã

O visor binocular possui uma graduação em forma de cruz que vai do 0 (zero) a 70, conforme figuras 16-a e 16-b. A distância graduada no visor que corresponde a 70 equivale a 50 metros de distância no alvo, de modo a ser colocado no software um fator multiplicativo de 0,714285714. Coincidindo o centro do alvo com o centro do retículo, têm-se para fins de cálculo valores negativos quando se está à esquerda e valores positivos quando à direita. Considerando a proa (proa verdadeira) de ataque de 160° e com os dados da distância dos impactos de ambas as torres, a ferramenta fornece a distância e a posição dos impactos em formato de orientação de horas em relação ao eixo de ataque da aeronave, isto é, trinta graus em relação ao eixo de ataque corresponde 2h (duas horas) mostrando a referida distância em relação ao centro do alvo. Esses dados depois de levantados e anotados têm fins estatísticos para determinação do ECP do emprego aéreo utilizado.

Pela posição das torres de observação e alvo e utilizando a lei dos cossenos, conforme a fórmula 2 ($|\mathbf{u}|^2 = \mathbf{u}_x^2 + \mathbf{u}_y^2 - 2\mathbf{u}_x\mathbf{u}_y\cos \phi$), onde os vetores u_x e u_y correspondem as distâncias dos pontos de impactos observados por cada torre ao centro do alvo, tem-se uma relação pitagórica, haja vista do ângulo ϕ formado entre as torres e o centro do alvo ser praticamente 90° , ficando a distância definida pela raiz quadrada da soma do quadrado das distâncias observadas por cada torre. Como o cosseno do ângulo de 90° tem o valor de zero ($\cos 90^\circ = 0$), a fórmula da distância fica definida como $|\mathbf{u}|^2 = u_x^2 + u_y^2$. Quanto a posição em relação ao eixo de passagem da aeronave, proa verdadeira de 160° , adotou-se a relação de seno e cosseno para a determinação dos eixos “x” e “y” e do posicionamento da resultante em relação ao centro do alvo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no presente trabalho foram satisfatórios mostrando a exatidão das medidas pelo software, conforme tabela 1, e da fácil visualização de modo a ter uma ideia clara dos vários impactos, possibilitando um estudo por parte do analista e do desempenho pelo piloto no treinamento. No entanto, para caracterizar a dispersão dos dados em termos relativos, calculou-se o coeficiente de variação. Observando-se as figuras 16-a e 16-b, pode-se verificar que cada unidade de graduação do visor binocular representa 0,71m ou 71 cm. Tal medida, diante dos dados e dispersões calculadas, é influenciada pela atenção e experiência do observador em visualizar o impacto das bombas no exercício. Tais fatores são fáceis de controlar pelas orientações e curtos períodos de treinamento diários, possibilitando aos observadores um descanso visual. O erro cometido está na graduação do visor e na acuidade visual do observador associada a distância observada e às influências da velocidade e direção do vento.

Há também os impactos que ricocheteiam no solo, confundindo o observador menos experiente, fazendo com que esse marque uma posição errônea. Entretanto, se a posição ficar defasada de uma unidade de graduação do visor, não comprometerá na precisão dos dados, em virtude da precisão do software calculada anteriormente.

Diante dos dados obtidos pelo software e pelas medidas no terreno, foram inseridos em planilha do Microsoft Office Excel 2007[®] e calculado o desvio padrão cujo valor foi de 0,34m e o coeficiente de variação usado para comparação dos valores das medidas in loco e das geradas pelo software, respectivamente, nos valores de 0,91% e 0,92%. De acordo com Crespo (2002), o desvio padrão leva em consideração a totalidade dos valores da variável em estudo.

Neste trabalho, o valor da precisão de 0,34m atende plenamente ao objetivo proposto, tendo o software uma exatidão de aproximadamente 99%.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho é uma ferramenta simples desenvolvida em linguagem HTML (CANVAS) de modo a possibilitar a visualização e cálculo das distâncias e posições sem precisar recorrer a uma tabela ou planilha, conforme é feita atualmente.

O trabalho abre margem para o desenvolvimento de ferramentas para substituição dos observadores por câmaras de filmagem. Tais filmadoras poderão ser ligadas remotamente e fornecerem os dados dos impactos, que estarão gravados, possibilitando um estudo mais acurado e sem a possibilidade de falha humana, haja vista do recurso de voltar a filmagem e rever os impactos.

Desta forma o objetivo geral foi atingido: “Apresentar uma ferramenta em software para determinar a exatidão das distâncias e direções dos impactos das bombas lançadas por aeronaves no estande de Saicã – RS”. Após os estudos sobre a geometria dos pontos na área de estudo, a aplicação do método de Silva; Menezes (2001) e a fórmula da literatura de Butkov (1983), foi possível elaborar um software em linguagem HTML para a mensuração dos impactos observados.

Salienta-se que a ferramenta desenvolvida auxiliará e agilizará os estudos dos impactos e cálculos para fins de ECP dos exercícios realizados.

O software desenvolvido tem caráter sigiloso

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING (ASPRS). **What is ASPRS** – definition. Bethesda: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing 2000. Disponível em: <<http://www.asprs.org/society/about.html>>. Acesso em nov. de 2009.

AVERY, T. E. BERLIN, G. L. **Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation**. 5th ed. New Jersey: Prentice Hall, 1992, 472 p.

BUTKOV, E. **Física matemática**. Tradução de João Bosco Pitombeira Fernandes de Carvalho. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1983.

BUYERS, J. W. **A história do 1º grupo de caça: 1943/1945**. Maceió, 2004. 498p.: il.

CHUVIECO, E. **Fundamentos de teledetección espacial**. Madrid: Ediciones Rialp, 2000, 568 p.

CIAARa - CENTRO DE INSTRUÇÃO E ADAPTAÇÃO DA AERONÁUTICA, Divisão de Ensino. **Introdução ao Reconhecimento**. Belo Horizonte, 2000. 107 p.

CIAARb - CENTRO DE INSTRUÇÃO E ADAPTAÇÃO DA AERONÁUTICA, Divisão de Ensino. **Navegação Foto**. Belo Horizonte, 2000. 96 p.

CRESPO, A. A. **Estatística fácil**. 17 ed. São Paulo: Saraiva. 2002. 224 p.

CTA - CENTRO TECNOLÓGICO AEROESPACIAL, Subdivisão de Imagens e Sensores. **Fundamentos de Radiometria**. Campo Montenegro, São José dos Campos, SP, 1993. 209 p.

CURRAN, P. J. **Principles of Remote Sensing**. Hong Kong: Longman, 1986. 282 p.

FERREIRA, A. B. H. **Novo dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. 2 ed. revista e aumentada. Rio de Janeiro: Nova Fronteira S.A, 1986. 1838 p.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos básicos de sensoriamento remoto**. 2005. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf>>. Acesso em nov. de 2009.

HALLIDAY, D. RESNICK, R. WALKER, J. **Óptica e Física Moderna**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, v.3, 2002. p. 2-3.

HARRELL, Thomaz W. M. **Curso Básico de Fotografia – UFU**, 1 cap. 14 p. 2002. Disponível em <<http://www.tharrell.prof.ufu.br/default2.htm>>. Acesso em nov. de 2009.

HEDGECOE, J. FORD, L. Tradução de Gabriel Trajan, Norma Freire e Silvio Rolim. **Manual do Fotógrafo**. Rio de Janeiro: JB, 1982. 352 p.

HOUAISS, A. **Dicionário HOUAISS da língua portuguesa**. 1 ed. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001. 2922 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, Departamento de Cartografia, **Noções Básicas de Cartografia** - Manual Técnico em Geociências. Rio de Janeiro: Centro de Documentação e Disseminação de Informações - CDDI, n. 8, II. série, 1999.130 p.

LILLESAND, T. M. KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 3th ed. New York: John Wiley, 1994. 647 p.

LIMA, R. M. **Senta a Pua!** Belo Horizonte: Itatiaia; Rio de Janeiro: Instituto Histórico da Aeronáutica, 1989 – (Coleção aeronáutica. Série histórica da aeronáutica brasileira; v.2).

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2006, 908 p.

LOPES, C. E. **Behaviorismo radical e subjetividade**. Tese (Doutorado em Filosofia) - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos: UFSCar, 2006.

MARCHETTI, D. A. B. GARCIA, G. J. **Princípios de fotogrametria e fotointerpretação**. 1 ed. São Paulo: Nobel, 1989. 257 p.

MINISTÉRIO DA DEFESA – COMANDO DA AERONÁUTICA. **Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira**, 2005. 63 p.

MINISTÉRIO DA DEFESA – COMANDO DA AERONÁUTICA. **Emprego do Armamento Aéreo**, 2002. 660 p.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações.** São Paulo: Editora UNESP, 2000. 287 p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação.** 3 ed. Viçosa: Editora UFV, 2007. 320 p.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto – Princípios e Aplicações.** São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 308 p.

ROCHA, C. H. O. et al. **Uma Discussão Histórica sobre a Fotogrametria.** Artigo. Universidade do Estado do Rio de Janeiro - Departamento de Engenharia Cartográfica. Disponível em < http://www.cartografia.org.br/xxi_cbc/042-F31.pdf>. Acesso em out. de 2010.

SILVA, E. L. MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e elaboração de dissertação.** 3 ed. Florianópolis: UFSC, 2001. 121 p.

SOUZA, M. H. S. de. SPINELLI, W. **Matemática, 2º grau: livro do professor.** São Paulo: Scipione, vol.2, 1996.

STEINBRUCH, A. WINTERLE, P. **Geometria analítica.** 2 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1987.

STEFFEN, C. A. LORENZETTI, J. A. STECH, J. L. SOUZA, R. C. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios Físicos, Sensores e Produtos, e Sistema LANDSAT.** São José dos Campos: INPE, 1981. 71 p.

ZEISS model TRb 60/24, Technical Handbook. **Long Range Horizontal Oblique Vertical Camera System (LHOV).** Zeiss Avionics Systems, Inc. 2006.