

# Emprego do Radar de Abertura Sintética em missões de busca marítima: revisão de conceitos

*Use of Synthetic Aperture Radar in maritime search and rescue missions: review of concepts*

*Uso de Radar de Abertura Sintética en misiones de búsqueda marítima: revisión de conceptos*

Cap Av Breno Ricardo de Araújo Leite  
Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica - EAOAR  
Rio de Janeiro/RJ - Brasil  
guardiao78@gmail.com

## RESUMO

Esta pesquisa teve por objetivo estabelecer uma comparação crítica entre o modelo de condução e execução de busca marítima, demandado pela regulamentação brasileira, e a metodologia empregada no uso do Radar de Abertura Sintética (SAR) da aeronave R-99, durante as buscas do Air France 447, com o intuito de identificar elementos comuns e divergências quanto a conceitos, abordagens ou mesmo requisitos. A metodologia utilizada consistiu na compilação de dados de diversas fontes ligadas ao objetivo, para então submetê-los à Análise Temática e Interpretativa. Os conceitos e ideias correlatos à pesquisa foram usados como subsídios para aplicação da técnica de mapeamento conceitual. O mapa gerado foi analisado e demonstrou que poucos conceitos e aspectos do SAR do R-99 estão adequadamente retratados nos documentos normativos brasileiros, enquanto outros foram descritos equivocadamente. Em contrapartida, os estudos da comunidade acadêmica corroboraram com a metodologia empregada pela tripulação do R-99 durante as buscas do Air France 447. De posse dessas informações, as autoridades competentes terão à sua disposição os subsídios necessários para avaliar a necessidade de uma revisão das normas e dos manuais de busca, com vistas a fornecerem aos coordenadores de missão todos os dados necessários para a correta utilização do SAR, em toda a sua plenitude.

**Palavras-chave:** Busca marítima. Radar de Abertura Sintética. Normas e manuais de busca. R-99.

Recebido / Received / Recebido  
19/03/13

Aceito / Accepted / Acepto  
18/10/13

## ABSTRACT

*The aim of this study is to establish a critical comparison between the execution and conduction model of maritime search and rescue mission described by Brazilian legislation and the methodology employed in the use of Synthetic Aperture Radar (SAR) of R-99 aircraft, during the Air France 447 accident, in order to identify common elements and differences in the concepts, approaches or requirements. The methodology used consisted of compiling data from various sources connected to the aim and then submit them to Thematic and Interpretive Analysis. The concepts and ideas related to the research were applied to the Concept Maps technique. The map generated was analysed and showed that only few concepts and aspects of SAR from R-99 are properly described in the Brazilian normative documents and some were mistakenly described. On the other hand, the academic community studies corroborate with the methodology used by the crew of the R-99 during the searches of Air France 447. Having this information, the competent authorities will have at its disposal the necessary subsidies to consider the need of a Search and Rescue manuals review to provide to the Mission's Coordinators all necessary information for the correct use of SAR.*

**Keywords:** Maritime SAR. Synthetic Aperture Radar. SAR rules and manuals. Embraer R-99.

## RESUMEN

*El objetivo de este trabajo es hacer una comparación crítica entre el modelo de gestión e implementación de las misiones de búsqueda marítima previstos en las normas brasileñas y la metodología empleada en el uso de Radar de Apertura Sintética (SAR) de aviones R-99, durante la misión de búsqueda de Air France 447, para identificar elementos comunes y diferencias como los conceptos, criterios o requisitos. La metodología utilizada consistió en investigación de datos de diversas fuentes conectadas a la meta y luego someterlos al Análisis Temático y Interpretativo. Los conceptos e ideas relacionadas con la investigación se utilizaron como elementos para la aplicación de la técnica de mapas conceptuales. El mapa generado fue analizado y demostró que solo unos pocos conceptos y aspectos del SAR de R-99 son representados adecuadamente en los documentos normativos brasileños y algunos fueron descritos erróneamente. Por otra parte, los estudios de la comunidad académica corroboran con la metodología utilizada por el equipo de R-99 en la búsqueda de Air France 447. Armado con esta información, las autoridades competentes tendrán a su disposición los subsidios necesarios para evaluar la necesidad de una revisión de las normas y manuales de búsqueda, para proporcionar a los coordinadores de misión toda la información necesaria para el correcto uso del SAR, en toda su plenitud.*

**Palabras-clave:** Búsqueda marítima. Radar de Apertura Sintética. Normas de búsqueda. Embraer R-99.

---

## 1 INTRODUÇÃO

O mês de junho de 2009 tornou-se um marco para o Sistema de Busca e Salvamento Aeronáutico (SISSAR), pois, na madrugada do dia 1º, o fatídico voo da empresa *Air France*, de número 447 (AF 447), que havia decolado do Rio de Janeiro para Paris, com 216 passageiros e doze tripulantes a bordo do *Airbus A330*, caiu no Oceano Atlântico, próximo ao arquipélago de São Pedro e São Paulo (FRANÇA, 2012). Teve início, naquele momento, a maior missão de busca já realizada pela Força Aérea Brasileira (FAB).

Entretanto, na percepção da Aviação de Reconhecimento, o fato mais marcante de toda a missão foi a utilização, pela primeira vez, da aeronave R-99 e seu Radar de Abertura Sintética (SAR), que atuou diretamente na localização dos destroços (BRASIL, 2009c).

Embora o SAR do R-99 possua uma diversidade de modos de operação disponíveis, todos desenvolvidos e integrados à gama de missões da aeronave, nunca se havia imaginado utilizar o sensor num cenário de busca marítima, inclusive tal emprego sequer foi planejado por seu fabricante e não havia metodologia, nem bibliografia específica para esse fim (MACDONALD DETTWILLER AND ASSOCIATES, 2000).

Apesar dessas circunstâncias, a tripulação apoiou-se nos conhecimentos sobre Sensoriamento Remoto para elaborar uma estratégia, alterando os filtros convencionais do radar, na esperança de encontrar algum sinal do sinistro. A tentativa foi bem sucedida, pois, já na primeira missão do R-99, os operadores identificaram alguns indícios dos destroços do AF 447 (MARINHO, 2011).

Nos dias seguintes, até o encerramento oficial das buscas, a aeronave permaneceu em Fernando de Noronha, prosseguindo na missão de localizar os destroços e realizar diversos testes no SAR. As tripulações, contudo, enfrentaram dificuldades para desempenharem bem suas funções, principalmente pelo pouco entendimento com os órgãos de coordenação da atividade de busca, pois aparentemente não compreendiam o *modus operandi* da aeronave R-99 (BRASIL, 2009c).

Foi nesse escopo e devido a essa inquietação que surgiu o problema desta pesquisa: verificar como se relacionam as instruções normativas do Comando da Aeronáutica que orientam a condução e execução de buscas no mar e a metodologia de emprego do SAR do R-99, utilizada na busca do AF 447.

O objetivo geral do trabalho foi estabelecer uma comparação crítica entre o modelo de condução e execução de busca marítima, demandado pela regulamentação brasileira, e a metodologia empregada no uso do SAR da aeronave R-99, durante as buscas do AF 447, com o intuito de identificar elementos comuns e divergências quanto a conceitos, abordagens ou mesmo requisitos. São estes os objetivos específicos da linha de investigação.

- identificar a metodologia e características de emprego do SAR do R-99, durante a busca do AF 447;
- relacionar as práticas e orientações do Comando da Aeronáutica para a condução e execução de buscas no mar; e
- verificar a abordagem da comunidade acadêmica e as atuais formas de emprego do radar SAR (aerotransportado ou orbital) em cenários marítimos.

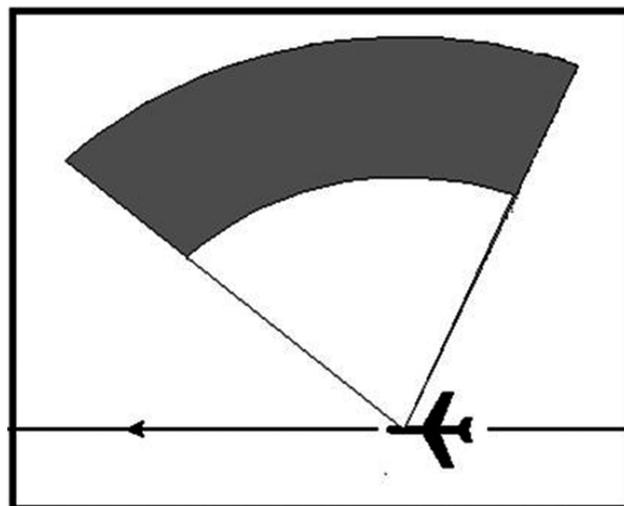
## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Radar de abertura sintética da aeronave R-99

O Radar de Abertura Sintética (*Synthetic Aperture Radar* - SAR) é um sensor ativo, que se utiliza da faixa de micro-ondas para geração de imagens de alta resolução espacial. O termo sensor ativo significa que ele é capaz de gerar sua própria radiação eletromagnética, ou seja, não depende da presença da radiação solar, podendo gerar imagens também no período noturno. Outra grande vantagem do SAR é a capacidade de sensoriar os alvos a despeito da existência de cobertura de nuvens, devido ao grande comprimento de suas ondas eletromagnéticas, que atravessam esse tipo de obstáculo.

O SAR da aeronave R-99 (SAR R-99) possui muitos modos de operação, sendo que, para o emprego em

ambiente marítimo, foi utilizado o Modo de Vigilância *Wide Area Search* (WAS) (BRASIL, 2009c), Figura 1.



**Figura 1:** Modo de varredura do WAS.

**Fonte:** MACDONALD DETTWILLER AND ASSOCIATES, 2000.

O WAS utiliza tecnologia *Doppler* e *Moving Target Indicator* (MTI), ferramentas que auxiliam na detecção e acompanhamento dos alvos plotados pelo radar. Seu funcionamento básico consiste em uma varredura em setores pré-selecionados de 60° ou 120°, com resolução espacial de 6 m e 18 m, respectivamente, e angulação relativa entre +120° e -120° em relação ao nariz da aeronave (BRASIL, 2008).

### 2.2 Regulamentação brasileira sobre o SISSAR

A NSCA 64-1 tem por finalidade consolidar as disposições que regulam o Sistema de Busca e Salvamento Aeronáutico (SISSAR), em consonância com os documentos editados pela Organização de Aviação Civil Internacional e pela Junta Interamericana de Defesa (BRASIL, 2010).

De acordo com o mesmo documento, o SISSAR é composto por elos individuais que devem trabalhar em conjunto, em prol da prestação do serviço de busca e salvamento, ou seja, a localização e o socorro de ocupantes de aeronaves ou de embarcações em perigo, o resgate e o retorno à segurança de tripulantes de aeronaves abatidas ou sobreviventes de acidentes aeronáuticos e marítimos, assim como a interceptação e escolta de aeronaves e embarcações em emergência.

Já o Manual de Busca e Salvamento (BRASIL, 2012) tem como meta estabelecer procedimentos que auxiliem a coordenação e a execução das missões SAR, além de determinar responsabilidades e orientar quanto aos fatores de planejamento, padrões de busca

e metodologias para execução de missões de busca no mar (BRASIL, 2012). Esse mesmo documento cita o radar SAR por diversas vezes, em diferentes ocasiões, que serão tratadas posteriormente.

### 2.3 Estudos acadêmicos sobre o uso do SAR em ambiente marítimo

São inúmeros os artigos publicados pela comunidade acadêmica acerca da utilização do SAR em ambiente marítimo, principalmente com foco nas áreas de oceanografia, exploração mineral e detecção de manchas de petróleo.

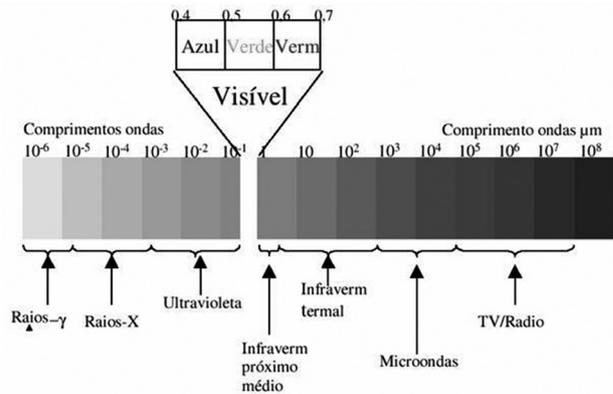
Em números reduzidos, também foram encontrados *papers* sobre a identificação de alvos na superfície marítima, que possuem certa relação com o objeto desta pesquisa, entretanto esses estudos estavam voltados para a localização de alvos maiores, como navios e plataformas petrolíferas.

Para tratar exatamente do tema correlato, foram apontados neste trabalho os artigos publicados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (PAES *et al.*, 2011a, 2011b) e pelo *Search and Rescue Mission Office* da NASA (CHOTOO *et al.*, 2000), que descrevem formas de emprego de SAR orbital para identificação de destroços de aeronaves acidentadas no mar. Essas informações foram úteis para validar a fundamentação teórica da pesquisa e a metodologia utilizada pelos tripulantes do R-99, durante as buscas do AF 447.

## 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Uma vez que a pesquisa tem o objetivo de avaliar a metodologia utilizada no emprego do SAR R-99, durante a busca do AF 447, e compará-la com as regulamentações e padronizações dos manuais de busca da FAB, bem como contextualizá-la em relação às práticas de utilização do radar, estudadas pela comunidade acadêmica, as fundamentações teóricas adotadas neste trabalho foram os princípios básicos de funcionamento do radar, com enfoque na aplicação em ambiente marítimo, que agregaram informações necessárias para a interpretação e análise dos dados coletados.

De acordo com Meneses (2009), o cerne de funcionamento de um radar é totalmente dependente da radiação eletromagnética, composta pelos campos elétrico e magnético, sendo que, no caso do SAR, o comprimento da onda eletromagnética é na faixa das micro-ondas, de 1 mm a 1 m, ou seja, são ondas de grande comprimento. Apenas para servir de referência, o comprimento de onda na faixa da luz visível é de (0,4 a 0,7)  $\mu\text{m}$  ( $\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$ ), conforme destacado na Figura 2.



**Figura 2:** Faixas do espectro eletromagnético, divididas pelo comprimento de onda, com realce na faixa das micro-ondas e luz visível. A faixa das ondas de TV e Rádio é coincidente, em parte, com as micro-ondas.

**Fonte:** Adaptado de Meneses (2009, p. 10).

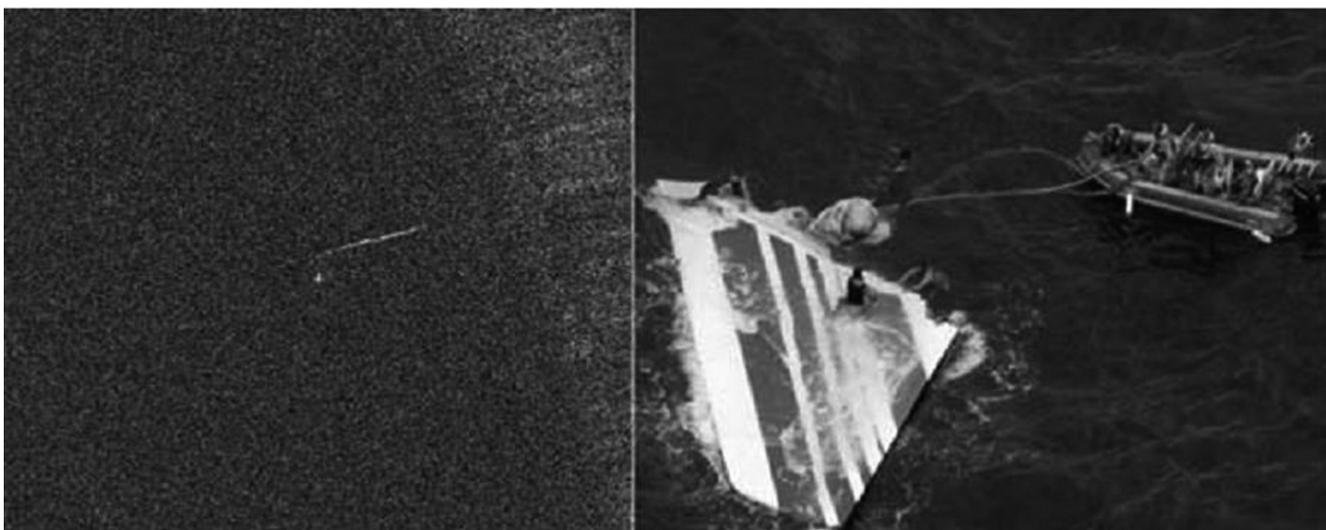
Ainda segundo o mesmo autor, devido a essa particularidade, a interação da radiação eletromagnética com a superfície dos objetos é conhecida como Interação Macroscópica, pois esse processo é baseado na relação do tamanho da onda com o tamanho dos objetos e com a textura das superfícies dos materiais, além do ângulo de incidência da onda e da propriedade dielétrica dos alvos.

Ainda mais, como a superfície do mar é muito homogênea, objetos não pertencentes àquele costumeiro ambiente são facilmente identificados. Esse fato é potencialmente intensificado quando se trata de aviões acidentados, devido ao formato predominante dos destroços, que normalmente apresentam muitas feições retangulares (MARINHO, 2011).

Baseados nessas informações, os tripulantes do R-99 decidiram utilizar o SAR da aeronave na busca, pois não havia teoria ou padronização específica para esse tipo de emprego, fosse pela especificação do fabricante do radar ou pelos manuais de busca da FAB. Em verdade, o modo *WAS*, utilizado na missão, não previa essa funcionalidade, já que seu objetivo era rastrear alvos em movimento, mas funcionou muito bem na operação e foi fundamental para a localização de várias partes da aeronave acidentada.

Os destroços do AF 447 somente foram localizados devido às mencionadas características, que eram de conhecimento dos operadores e balizou a tomada de decisões durante a operação improvisada dos modos do radar.

Todos esses fatores foram de extrema relevância para o sucesso da missão e possibilitaram que esses pequenos objetos conseguissem sensibilizar os receptores do equipamento, ao ponto de serem apresentados na tela, destacando-se da superfície do mar, conforme Figura 3.



**Figura 3:** A imagem da esquerda apresenta o alvo na tela do radar e na direita observa-se o alvo respectivo, a empenagem do avião, sendo resgatada pela Marinha do Brasil.

**Fonte:** Marinho (2011, p. 10).

#### 4 METODOLOGIA

De acordo com as definições de Gil (2010), esta pesquisa está classificada, com base em seus objetivos, como exploratória, haja vista o procedimento de uma investigação sobre o emprego do Radar de Abertura Sintética (SAR) em busca marítima, em cujo assunto há escassez de conhecimento acumulado e sistematizado.

Outrossim, de acordo com o mesmo autor, os procedimentos técnicos utilizados para coleta dos dados foram a pesquisa bibliográfica e documental, pois, tanto o material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos, quanto materiais que não receberam ainda um tratamento analítico, como relatórios e manuais institucionais, foram elencados durante a coleta documental.

A fase inicial do trabalho consistiu na compilação dos dados existentes nas mais diversas fontes, para então os submeter à Análise Temática (apreensão do conteúdo) e Análise Interpretativa (julgamento do conteúdo e discussão), conforme proposto por Lakatos e Marconi (2008). Essa fase permitiu a distribuição dos dados levantados em classes, que foram analisadas individualmente.

Concluída essa etapa, foi empregada a técnica de mapeamento conceitual (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001), de modo a possibilitar o mapeamento dos relacionamentos entre os conceitos e metodologias existentes nos manuais da FAB e aqueles executados pelo R-99, durante as buscas do AF 447, dentro de cada uma das classes propostas.

Para a construção dos mapas foi utilizado o *software Compendium*. A estrutura desse mapa assemelha-se a um grafo composto por nós e ligações de influências, em que cada nó pode representar um princípio ou um conceito

que complementa ou explica um princípio. Cada ligação de influência representa uma relação entre dois nós. Esse tipo de abordagem facilita a visualização e o entendimento sobre as contribuições e relações individuais existentes (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

De posse desses mapas, foi identificado o relacionamento entre as instruções normativas do Comando da Aeronáutica, que orientam acerca da condução e execução de buscas no mar, e a metodologia de emprego do SAR do R-99, utilizada na busca do AF 447, em resposta ao problema identificado nesta pesquisa.

#### 5 APRESENTAÇÃO DOS DADOS

Durante as pesquisas documental e bibliográfica, diversas fontes foram utilizadas para a compilação de dados relevantes a esse trabalho, conforme descrito a seguir.

Com o intuito de elencar as características e capacidades do radar, os fatores de planejamento e a metodologia de emprego do SAR R-99, foram estudados o Manual do Coordenador Tático do R-99 (BRASIL, 2011), o Manual do Operador do Radar de Abertura Sintética (BRASIL, 2008), o manual do fabricante do equipamento (MACDONALD DETWILLER AND ASSOCIATES, 2000) e o Relatório Final de Operação do 2º Esquadrão do 6º Grupo de Aviação (BRASIL, 2009c).

Para identificar a organização e o funcionamento do SISSAR, os métodos praticados pelos órgãos coordenadores das buscas e a capacitação dos recursos humanos que integram esses órgãos, os seguintes documentos foram analisados: NSCA 64-1 – Sistema de Busca e Salvamento

Aeronáutico (BRASIL, 2010), MCA 64-3 – Manual de Busca e Salvamento (BRASIL, 2012) e Plano de Unidades Didáticas do Curso de Coordenação SAR – SAR001 (BRASIL, 2009a).

Diversas publicações científicas também foram consultadas, para consolidar a fundamentação teórica da pesquisa e confrontá-la com a metodologia utilizada pelos tripulantes do R-99.

Podem-se citar, como exemplo, os artigos publicados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (PAES *et al.*, 2011a, 2011b) e pelo *Search and Rescue Mission Office* da NASA (CHOTTOO *et al.*, 2000), que descrevem formas de empregar um radar SAR orbital para identificação de destroços de aeronaves acidentadas no mar, além do trabalho publicado por Marinho (2011), que retratou com detalhes a metodologia empregada pelo SAR R-99, durante a missão em Fernando de Noronha-PE.

Depois de compilados todos os dados, eles foram analisados e separados em três classes distintas: Características, Capacidades e Modos de Operação. Essa divisão em classes foi necessária para permitir o mapeamento dos conceitos individualmente, de forma que o mapa gerado pudesse ser dividido em três *clusters*.

De acordo com Ensslin *et al.* (2001), a análise de mapas conceituais por *clusters* reduz a complexidade que se teria no caso em que se decidisse tratar do mapa como um todo. *Clusters* são agrupamentos formados em consequência das afinidades ou relacionamentos entre os conceitos do mapa. Podem ser identificados apenas visualmente ou mediante a análise conceitual dos nós. Ainda segundo o mesmo autor, existem várias formas de se construir um mapa conceitual, diferenciando principalmente pela intenção de se gerar tal representação gráfica.

Especificamente neste trabalho, tendo em vista que o objetivo é efetuar uma comparação crítica entre as instruções normativas do Comando da Aeronáutica e a metodologia de emprego do SAR R-99, procurou-se simplificar o mapa, de forma que ele represente se os conceitos da segunda são negligenciados pela primeira, se estão diretamente alinhados, ou se são conflitantes. Para facilitar o entendimento, o mapa foi criado segundo a simbologia apresentada no Quadro 1.

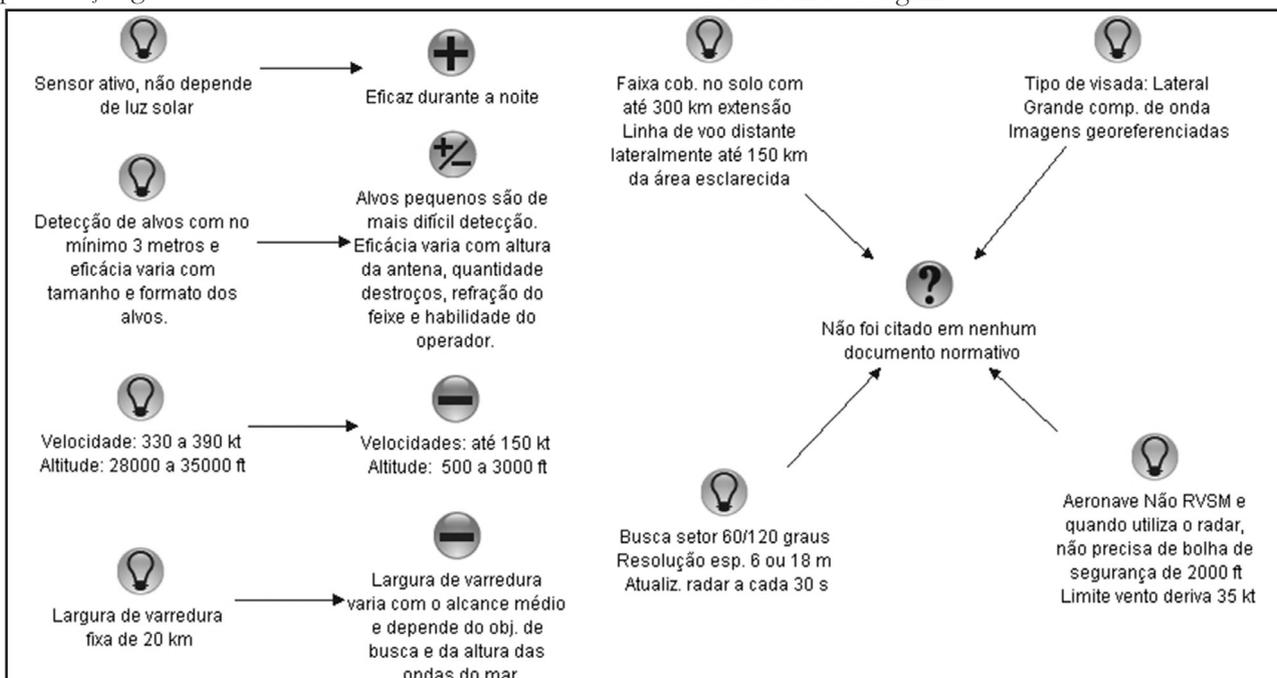
**Quadro 1:** Simbologia utilizada na construção dos mapas conceituais.

| Simbologia | Significado   |
|------------|---|
|            | Ideia ou conceito sobre o emprego do SAR em busca marítima              |
|            | Abordagem condizente por parte dos documentos normativos da busca       |
|            | A ideia ou conceito foi parcialmente retratado pelos documentos citados |
|            | Abordagem dos documentos é contraditória ou equivocada                  |
|            | Nenhum documento normativo citou ou retratou a ideia / conceito         |

Logo abaixo de cada um dos símbolos, encontra-se descrita a ideia ou conceito sobre o uso do radar ou a forma como eles foram retratados pelos documentos normativos que regem a missão de busca marítima.

## 6 DISCUSSÕES E ANÁLISES

O mapa conceitual gerado foi dividido em 3 *clusters*, aqui denominados Características (Figura 4), Capacidades (Figura 5) e Modos de Operação (Figura 6), cujas análises estão descritas a seguir.



**Figura 4:** Cluster Características, extraído do mapa conceitual gerado na pesquisa.

Pode-se depreender desse mapa que somente um conceito sobre as características do radar foi abordado plenamente pelas normas de coordenação de busca: o fato de o sensor não depender da luz solar. Apesar de a redação do texto não utilizar o termo técnico “sensor ativo”, a especificação de “eficaz durante a noite” atende totalmente aos requisitos.

Esse conceito é a grande marca do SAR e propicia a principal diferenciação quando utilizado nas buscas, pois garante a ininterruptabilidade das atividades. Antes da entrada do sensor nesse cenário, as operações de busca estavam praticamente condicionadas ao período diurno.

Quanto à detecção de alvos, os critérios foram comentados parcialmente, pois, apesar da habilidade do operador e do tamanho e quantidade de destroços influenciarem na eficácia, os demais aspectos apresentados estão incorretos, já que a altura da antena e a refração do feixe não interferem na detecção. Outro detalhe importante omitido diz respeito à limitação do sensor, que só é capaz de detectar alvos com, no mínimo, 3 metros de comprimento ou largura.

Observa-se também que o parâmetro básico de velocidade e altitude está incoerente, o que pode induzir o planejador das buscas, pois o *range* destacado no documento não abrange a faixa mínima

para a operação do radar. Seu desconhecimento pode influenciar nos planejamentos e na capacidade do coordenador em empregar adequadamente os recursos do SAR R-99.

Da mesma forma, o conceito de Largura de Varredura, faixa do terreno esclarecida de uma só vez, está incorreto, pois ela foi fixada pela fabricante em 20 km, ou seja, não sofre interferência dos fatores citados no mapa, apesar de eles também influenciarem na eficácia de detecção.

Já os nós ligados ao símbolo de “ponto de interrogação” não foram mencionados nos documentos normativos das missões de busca. Alguns desses nós referem-se às especificidades do SAR, como o tipo de visada e a taxa de atualização de imagens, entretanto outros são de vital importância e possuem grande impacto no planejamento e no resultado da missão, como, por exemplo, a faixa longitudinal, coberta no solo, e a distância lateral que o sensor pode ficar afastado da área esclarecida.

Na Figura 5 observa-se que esses conceitos e ideias foram abordados, em sua maioria, de forma parcial pelas normas reguladoras do SISSAR. A exceção à regra deve-se, principalmente, às capacidades multimissão da aeronave R-99: tarefas secundárias executadas concomitantemente com a realização da busca marítima.

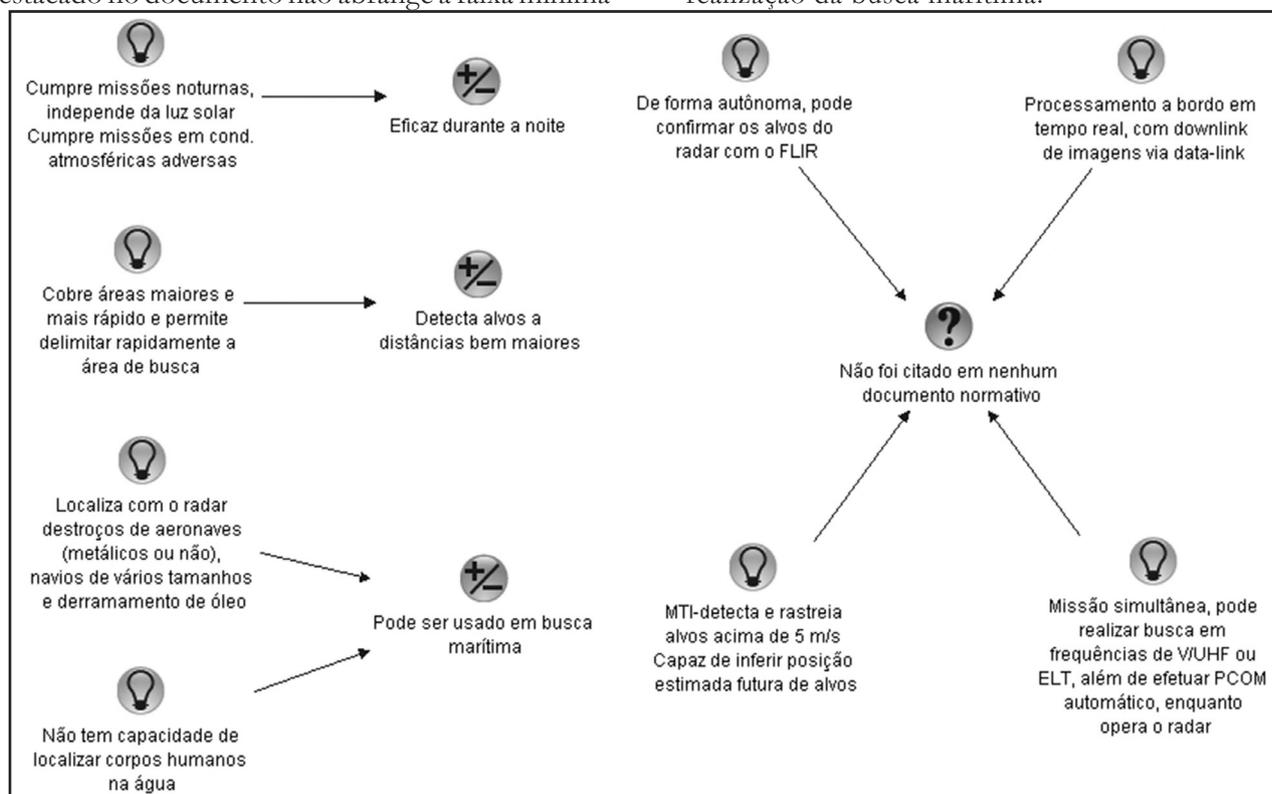


Figura 5: Cluster Capacidades, extraído do mapa conceitual gerado na pesquisa.

Decorrente do mapa Características, o nó “eficaz durante a noite” também se liga ao *cluster* apresentado acima, devido à capacidade do SAR em realizar missões noturnas.

Embora esteja satisfatoriamente definido, conjuntamente com ele encontra-se a capacidade de cumprir missões a qualquer tempo, a despeito das condições meteorológicas adversas na área de busca, visto que o comprimento da onda radar permite “enxergar” além das espessas nuvens de tempestade. Esse conceito é de extrema relevância, mas não se encontra à disposição dos coordenadores de missão.

Também foi abordado parcialmente o fato de permitir cobrir áreas maiores e mais rápido e delimitar rapidamente a área de busca, pois o único nó que se liga a esse cita apenas a “detecção de alvos a distâncias bem maiores”. Em verdade, a capacidade identificada reflete algo bem maior que isso.

Devido à grande velocidade e Largura de Varredura, a eficiência do SAR R-99 é muito superior à dos outros vetores, pois seria necessária uma quantidade maior de aeronaves, tempo e combustível para executar a mesma tarefa que ele cumpre sozinho e em menor tempo. Além de detectar alvos a maiores distâncias, ele permite delimitar a área provável do acidente e excluir as demais, evitando o desperdício de meios e propiciando o foco na real área de interesse da busca.

Outro aspecto muito importante, que deixou de ser explorado integralmente, refere-se aos tipos de alvo que

podem ser localizados com o SAR, pois somente a ideia “pode ser usado em busca marítima” foi relacionada nos dados coletados.

A ausência de informações mais precisas, tais como aquelas destacadas no mapa, pode contribuir para o julgamento incorreto por parte dos órgãos de coordenação ou ainda levantar falsas expectativas quanto às possibilidades de emprego do sensor (localização de corpos humanos na superfície do mar).

Algumas outras capacidades do SAR R-99 simplesmente deixaram de ser comentadas, apesar de serem de extrema relevância e possuírem grandes contribuições para a condução de buscas marítimas.

Pode-se citar, como exemplo, o fato de o processamento das imagens ser realizado a bordo da aeronave, em tempo real, e a possibilidade de enviar essas mesmas imagens para estações em solo pelo sistema de transmissão de dados (*datalink*).

Além disso, outra característica marcante é a capacidade de cumprir várias tarefas simultaneamente, tais como: Posto de Comunicações no Ar (PCOM-AR), que permite o enlace automático de comunicações entre as demais aeronaves e os órgãos de controle ou realiza escuta nas frequências de VHF/UHF e do Transmissor de Localização de Emergência (ELT, em inglês), ou também executa a detecção e identificação dos alvos autonomamente, conjugando o uso do SAR com o emprego do Sensor Ótico e Infravermelho (OIS, em inglês).

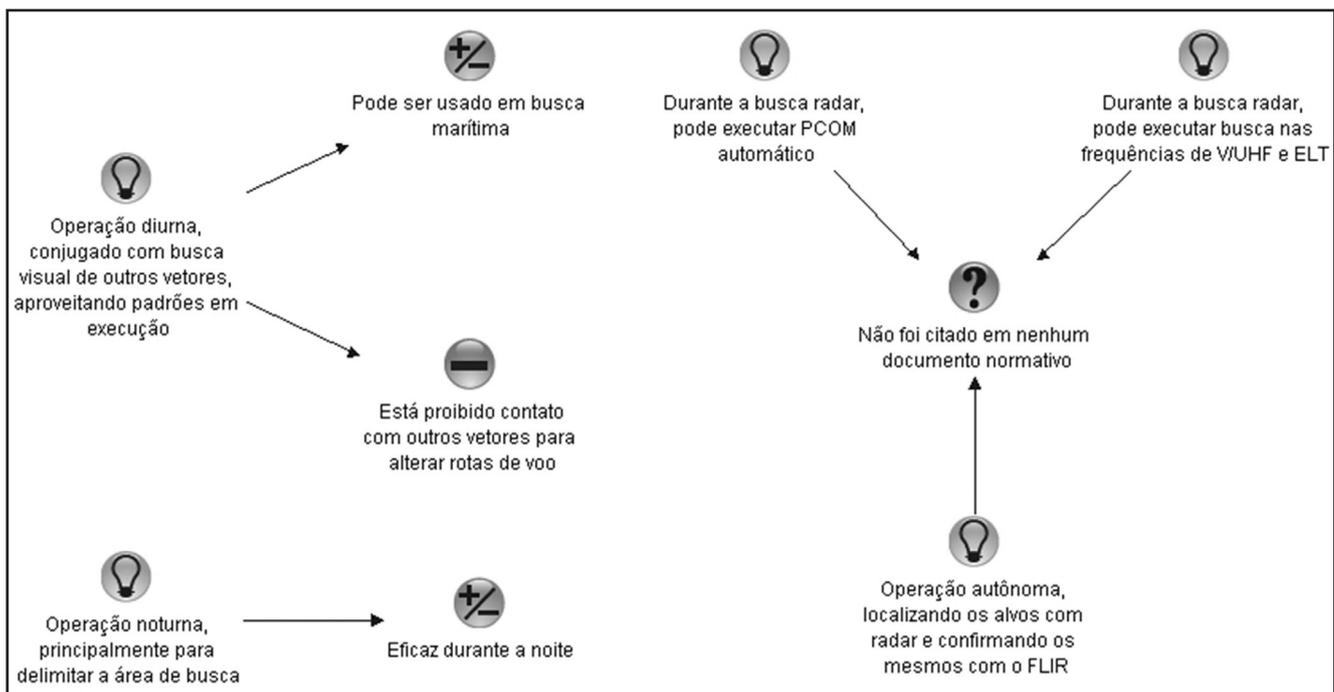


Figura 6: Cluster Modos de Operação, extraído do mapa conceitual gerado na pesquisa.

Observando o *cluster* Modos de Operação, percebe-se que as ideias aqui apresentadas estão intimamente relacionadas aos conceitos abordados nos mapas Características e Capacidades. Em verdade, é impraticável tentar dissociar o terceiro mapeamento dos dois primeiros, visto que decorre destes.

Cabe ressaltar que novamente a definição dada pelos documentos normativos foi incipiente, pois que somente os nós “pode ser usado em busca marítima” e “eficaz durante a noite” ligaram-se a algum conceito disposto nesse mapa, sem explorar devidamente todos os aspectos envolvidos, que serão tratados aqui com uma abordagem muito mais operacional e menos técnica.

A operação diurna do SAR R-99 pode ser executada de várias formas, sendo que os relatórios gerados após o acidente do AF 447 apontaram que a mais eficiente seria conjugar a busca eletrônica com a visual, possibilitando a confirmação e identificação dos alvos com pequena defasagem de tempo em relação ao momento em que foram detectados pelo radar.

Obviamente que o Comandante do R-99 não vai interferir na missão das demais aeronaves, tampouco vai alterar os padrões estabelecidos pelo Coordenador de Missão SAR, uma vez que ele é o organizador e gerente da atividade. Entretanto vetores que estejam apenas cumprindo a ida ou o regresso da área de busca podem ser aproveitados na execução de pequenos desvios da rota original para investigação dos alvos do SAR.

A grande vantagem dessa utilização seria a economia de meios, pois uma aeronave poderia, com um simples ajuste de rota, confirmar as informações, já que, quanto mais cedo o alvo for investigado, mais precisa será a posição passada pelo R-99, levando-se em consideração que os objetos na superfície marítima estão se deslocando “ao sabor da maré”.

Todavia, conforme destacado no mapa, para que isso possa ser posto em prática, uma posição do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), órgão central do SISSAR, necessitaria ser revista.

Na reunião promovida por esse órgão, que teve como agenda “Lições aprendidas na Operação de Busca e Salvamento AF 447” (BRASIL, 2009a), ficou determinado que esse tipo de “interferência” do R-99 no voo das outras aeronaves estava proibido, porém o texto da ata não especifica se isso se aplicava somente à mudança do padrão de

busca ou a qualquer alteração da rota, nos moldes citados anteriormente.

Quanto à operação noturna, o foco seria na possibilidade de delimitar a área de busca, expandindo suas fronteiras ou descartando setores devido à ausência de alvos, porém, uma vez mais, o conceito foi tratado superficialmente.

Esse modo de operação é muito interessante, pois permite acelerar o esclarecimento de áreas durante um período em que nenhuma atividade estaria sendo executada, devido à dependência das outras aeronaves da luz solar.

Caso o R-99 cumpra uma missão noturna, os alvos detectados poderão ser confirmados na manhã do dia seguinte ou a área sem presença dos mesmos poderá até ser descartada.

Outra grande ferramenta disponibilizada pelo SAR R-99 é a capacidade de realizar missões de forma autônoma e independente, o que decorre de sua característica de plataforma multisensor.

Considerando uma situação em que não se dispõe de outros meios para cumprir os papéis então descritos, a própria aeronave R-99, em determinado momento, pode abandonar o perfil de voo SAR e partir para a busca com o sensor OIS.

Essa poderosa câmera é capaz de varrer grandes áreas, aplicar vários níveis de *zoom* e rastrear os objetivos, tanto com a câmera CCD (visível), quanto com a Termal (infravermelho). As cenas filmadas podem ser gravadas em fita, ou para posterior processamento, ou para serem disponibilizadas aos órgãos de coordenação e de imprensa.

O prejuízo desse tipo de operação é a diminuição da autonomia de voo, pois, como o perfil do OIS é mais lento e mais baixo que o SAR, o consumo de combustível é bem maior, mas não o suficiente para descartar sua utilização. Apenas o planejamento das áreas deve ser revisto e dimensionado para essa situação.

Já em relação às missões secundárias, da mesma forma que o último tópico descrito, nenhum conceito ou ideia foi abordado pelos documentos normativos. Essa omissão pode restringir o acesso do coordenador da busca à diferencial capacidade do R-99: executar outras tarefas concomitantemente à principal, sem prejuízo desta. Como exemplos, são citadas as duas seguintes situações:

Durante a busca do AF 447, em virtude da área do acidente estar situada a 800 km de Fernando de Noronha e a 1100 km do continente, as aeronaves não conseguiam estabelecer contato rádio com os órgãos de controle de tráfego aéreo. Na ocasião,

foi designada uma aeronave P-95 para resolver o problema, retransmitindo as mensagens entre os interlocutores (BRASIL, 2009a).

Se o coordenador da missão conhecesse a função *Relay Mode* do R-99, poderia ter determinado que a aeronave cumprisse a missão PCOM-AR automático, já que é muito mais eficiente que o realizado pelo P-95 e não tem interferência na busca feita pelo SAR.

Da mesma forma que a anterior, a capacidade de realizar escuta nas frequências de VHF/UHF e ELT é de desconhecimento dos órgãos de coordenação. Essa função não tinha utilidade e não foi usada na busca do AF 447, pois o ELT afundou junto com a aeronave e não houve sobreviventes (FRANÇA, 2012).

Contudo, em eventos futuros, em caso de sobreviventes com condições de realizar contato via rádio, seria muito importante a participação do R-99, que poderia rapidamente localizar as vítimas mediante o escaneamento (escuta) das frequências de rádio.

Cumprida essa etapa da pesquisa, será procedida uma breve explanação sobre os principais aspectos identificados nos estudos da comunidade acadêmica sobre o uso do SAR em ambiente marítimo, com o intuito de consolidar a fundamentação teórica e confrontá-la com a metodologia utilizada pelos tripulantes do R-99.

Os dois artigos publicados por Paes *et al.* (2011a, 2011b) utilizaram imagens SAR, datadas de junho de 2009, do radar embarcado no satélite italiano Cosmo-Skymed, para uma tentativa de identificação dos destroços do AF 447. A pesquisa procedeu a um verdadeiro estudo de caso, confrontando os pontos prováveis localizados nas imagens com o relatório oficial do DECEA, que indicava um total de 455 avistamentos ocorridos durante a busca visual (BRASIL, 2009c).

O resultado da pesquisa apontou que diversos pontos das imagens estavam muito próximos dos locais onde haviam sido avistados destroços da aeronave. A precisão somente não pôde ser maior por que o horário das imagens raramente coincidia com o horário do relatório, naturalmente devido à órbita do satélite.

De uma série de publicações científicas no *Search and Rescue Mission Office* da NASA, que se dedica exclusivamente à pesquisa de sensores remotos, entre eles o SAR, com aplicação na Busca e Salvamento, o artigo de Chotoo *et al.* (2000) é o mais correlato com esse trabalho.

Esse artigo primeiramente identificou as principais características e vantagens de se utilizar o Radar de Abertura Sintética, para depois propor uma metodologia para localização de aeronaves acidentadas, apontando alguns resultados experimentais bem sucedidos.

Em resumo, as ideias e conceitos apontados pelas publicações científicas corroboram com tudo o que foi exposto na análise dos mapas e estão intimamente relacionados à fundamentação teórica desta pesquisa e à metodologia adaptada pelo SAR R-99 para a busca marítima.

## 7 CONCLUSÃO

Este trabalho teve por objetivo geral estabelecer uma comparação crítica entre o modelo de condução e execução de busca marítima, demandado pela regulamentação brasileira, e a metodologia empregada no uso do SAR da aeronave R-99, durante as buscas do AF 447, com o intuito de identificar elementos comuns e divergências quanto a conceitos, abordagens ou mesmo requisitos.

Como objetivos específicos da pesquisa, destacam-se: levantar os conceitos e ideias da comunidade acadêmica sobre o emprego do SAR, elencar a metodologia utilizada pelo SAR R-99 no acidente do AF 447 e relacionar as práticas e orientações do Comando da Aeronáutica para a condução e execução de buscas no mar, para depois verificar como tudo isso interagia.

A partir dos resultados apresentados, conclui-se que a metodologia utilizada pela tripulação do R-99 estava plenamente de acordo com o que preconizam os estudos da comunidade acadêmica sobre o uso do SAR em ambiente marítimo e, da mesma forma, estava alinhada com o disposto nos princípios básicos de funcionamento do radar, fundamentação teórica deste trabalho, que serviu de embasamento, tanto para a aplicação do sensor pelo R-99, quanto para as pesquisas científicas.

Entretanto ficou constatado que, nas normas regulatórias do DECEA, alguns aspectos de utilização do SAR estão descritos em conformidade com esses conceitos. Essa situação pode interferir no emprego do radar nas buscas marítimas, visto que esses manuais são a base sobre a qual o Coordenador de Missão vai planejar e conduzir suas tarefas. Por isso, é necessário que os manuais estejam completos e abrangentes, para fornecer todos os dados para a correta utilização do sensor, em toda a sua plenitude.

De posse dessas informações, as autoridades competentes terão à sua disposição os subsídios fundamentais para, caso julguem necessário, avaliar a necessidade ou não de uma revisão das normas e dos manuais de busca.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Ata de Reunião n. 21/SDOP-SAR/2009**. Rio de Janeiro, RJ, 2009.

\_\_\_\_\_. **MCA 64-3: Manual de Busca e Salvamento (SAR)**. Rio de Janeiro: Comando da Aeronáutica, 2012.

\_\_\_\_\_. **NSCA 64-1: Sistema de Busca e Salvamento Aeronáutico**. Rio de Janeiro: Comando da Aeronáutica, 2010.

\_\_\_\_\_. **Plano de Unidades Didáticas do Curso de Coordenação SAR (SAR001)**. Rio de Janeiro, RJ, 2009a.

\_\_\_\_\_. **Relatório de Avistamentos da Operação de Busca e Salvamento AF 447 (Sightings)**. Rio de Janeiro, RJ, 2009b.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Segundo Esquadrão do Sexto Grupo de Aviação. **Manual do Coordenador Tático do R-99**. Anápolis, GO, 2011.

\_\_\_\_\_. Segundo Esquadrão do Sexto Grupo de Aviação. **Manual do Operador do Radar de Abertura Sintética**. Anápolis, GO: Comando da Aeronáutica, 2008.

\_\_\_\_\_. Segundo Esquadrão do Sexto Grupo de Aviação. **Relatório Final de Operação n. 2/2009**. Anápolis, GO, 2009c.

CHOTOO, K.; HUXTABLE, B. D.; MANSFIELD, A. W.; RAIS, H. Probability of detection of downed aircraft using SAR polarimetry. In: CONFERENCE SPIE AUTOMATIC TARGET RECOGNITION X, 10., 2000, Orlando, FL. **Anais eletrônicos...** Orlando: NASA, 2000. Disponível em: <<http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=906105>>. Acesso em: 29 set. 2012.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER NETO, G.; NORONHA, S. M. **Apoio à decisão: metodologia para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas**. Florianópolis: Insular, 2001.

FRANÇA. Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie. Bureau d'Enquêtes et d'Analyses. **Rapport Final vol AF 447**. Paris, France: Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, 2012.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia do Trabalho Científico**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

MACDONALD DETTWILLER AND ASSOCIATES. **SIVAM Airborne System – Operations Manual (SDRL A006-1)**. Vancouver: [s.n.], 2000.

MARINHO, C. A. B. Utilização do Radar de Abertura Sintética da aeronave R-99 na busca marítima dos destroços do voo Air France 447. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba, PR. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos, SP: INPE, 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0136.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2012.

MENESES, P. R. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. Instituto de Geociências. Brasília, DF: UNB, 2009.

PAES, R. L. *et al.* Cosmo-Skymed SAR Data to Observe Small Metallic Objects from Ocean Crashed Aircraft. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM 2011 (IGARSS'11), 2011, Vancouver, Canada. **Anais...** Vancouver: IEEE, 2011, p. 2869-2872.

PAES, R. L. *et al.* Cosmo-Skymed SAR data for urgency situations: study of a real case. In: ECCOMAS THEMATIC CONFERENCE ON COMPUTATIONAL VISION AND MEDICAL IMAGE PROCESSING: VIPIMAGE 2011a, 3., 2011, Olhão, Portugal. **Anais...** Olhão: ECCOMAS, 2011a.