



ESCOLA DE COMANDO E ESTADO-MAIOR DA AERONÁUTICA
COORDENADORIA ACADÊMICA
CURSO AVANÇADO DE COMANDO E ESTADO-MAIOR

FABIANO JOSÉ DE OLIVEIRA, Maj Av

Radars tridimensionais na região de fronteira: uma análise operacional

Rio de Janeiro
2021

ESCOLA DE COMANDO E ESTADO-MAIOR DA AERONÁUTICA
COORDENADORIA ACADÊMICA
CURSO AVANÇADO DE COMANDO E ESTADO-MAIOR

FABIANO JOSÉ DE OLIVEIRA, Maj Av

Radares tridimensionais na região de fronteira: uma análise operacional

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso Avançado de
Comando e Estado-Maior da Escola de
Comando e Estado-Maior da Aeronáutica.
Linha de Pesquisa: Poder Aeroespacial.
Orientador: Mário Luis Ribeiro Santos

Rio de Janeiro
2021

RESUMO

O controle de tráfegos aéreos transfronteiriços adentrando o território nacional é fundamental para a manutenção da soberania nacional. O uso de radares é preponderante para o controle do espaço aéreo em áreas sujeitas ao sobrevoo de aeronaves ilegais, principalmente em baixas altitudes. Recentemente, um desses equipamentos, o TRS 2230, foi substituído pelo LP23SST NG. Com isso, o objetivo deste trabalho consistiu em analisar qual a influência da substituição dos sistemas radar TRS 2230 por sistemas LP23SST NG na capacidade de detecção a baixa altura na fronteira oeste. Como metodologia foi utilizada a pesquisa bibliográfica e documental a fim de identificar as principais características dos radares elencados no estudo. De posse das características, foi elaborado um questionário, direcionado a 50 especialistas de controle de tráfego aéreo, sendo possível priorizar quatro critérios para os dois radares: detecção radar, topografia, fatores técnicos e Guerra Eletrônica. Na busca do objetivo principal, foi realizada uma comparação entre essas características, utilizando o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Dentre as duas alternativas consideradas (TRS 2230 e LP23SST NG), os resultados identificaram, por meio do *software SuperDecisions*, que o sistema LP23SST NG teve prevalência sobre o outro sistema, representando um índice comparativo de 71,58% nos critérios selecionados pelo decisor. O resultado deste trabalho permitirá um melhor entendimento dos radares de vigilância para a cobertura radar a baixa altura, na fronteira oeste, contribuindo assim para a garantia da soberania e defesa das ações voltadas para a prevenção de atos ilícitos na região.

Palavras-chave: baixa altura; cobertura radar; comparação; radar.

ABSTRACT

Control of cross-border air traffics entering the national territory is fundamental for the maintenance of national sovereignty. The use of radar is preponderant for the airspace control in areas where illegal aircraft might overfly, especially at low altitudes. Recently, one of these devices, the TRS 2230, was replaced by the LP23SST NG. Thus, the objective of this article was to analyze the influence of the replacement of TRS 2230 radar systems by LP23SST NG systems in low-level detection capacity on the western border. As a methodology, bibliographical and documentary research were used in order to identify the main characteristics of the radars listed in the study. In possession of the characteristics, a questionnaire, directed to 50 specialists in air traffic control, was prepared, making it possible to prioritize four criteria for the two radars: radar detection, topography, technical factors and Electronic Warfare. In pursuit of the main objective, a comparison between these characteristics was performed, using the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. Among the two alternatives considered (TRS 2230 and LP23SST NG), through the SuperDecisions software, the results identified that the LP23SST NG system prevailed over the other system, representing a comparative index of 71.58% in the criteria selected by the decision maker. The result of this work will allow a better understanding of surveillance radars for radar coverage at low altitudes on the western border, thus contributing to national sovereignty's safeguard and to secure actions with the purpose to prevent illegal acts in the region.

Keywords: comparison; low-level; radar; radar coverage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura de decisão hierárquica por AHP em três níveis.	15
Figura 2 – Hierarquia demonstrativa do método AHP aplicado ao problema de pesquisa.....	22
Figura 3 – Diagrama de cobertura radar LP23SST NG.....	23
Figura 4 – Cobertura radar TRS 2230 no FL 300 na fronteira oeste.	24
Figura 5 – Cobertura radar LP23SST NG no FL 300 na fronteira oeste.....	25
Figura 6 – Valores relativos aos critérios inseridos de forma direta no AHP.....	29
Figura 7 – Resultado final da análise AHP para radares.....	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características do sistema radar TRS 2230.	19
Quadro 2 – Características do sistema radar LP23SST NG.	20
Quadro 3 – Matriz de relevância dos radares em relação à detecção radar.	39
Quadro 4 – Matriz de relevância dos radares em relação à topografia.	39
Quadro 5 – Matriz de relevância dos radares em relação a fatores técnicos.	39
Quadro 6 – Matriz de relevância dos radares em relação à Guerra Eletrônica.	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Priorização de Critérios para radares.	28
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Escala Numérica de Saaty.....	16
Tabela 2 – Comparação de Detecção Radar no FL 300.....	23
Tabela 3 – Relação de Importância por Critério Definido	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

CACEM – Curso Avançado de Comando e Estado-Maior da Aeronáutica

CINDACTA II – Segundo Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle do Espaço Aéreo

COMAER – Comando da Aeronáutica

COPM2 – Segundo Centro de Operações Aéreas Militares

DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo

DTCEA – Destacamento de Controle do Espaço Aéreo

ECEMAR – Escola de Comando e Estado-Maior da Aeronáutica

EUA – Estados Unidos da América

FAB – Força Aérea Brasileira

GE – Guerra Eletrônica

IFF – *Identify Friend and Foe*

OTHR – *Over-the-horizon Radar*

PEF – Plano Estratégico de Fronteiras

RAF – *Royal Air Force*

SIVAM – Sistema de Vigilância da Amazônia

TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Teoria de radares	13
2.2	Método AHP	14
3	METODOLOGIA	16
4	APRESENTAÇÃO DOS DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS	19
4.1	Características do Sistema TRS 2230	19
4.2	Características do Sistema LP23SST NG	20
4.3	Critérios de comparação de sistemas radares	21
4.3.1	Detecção radar	22
4.3.2	Topografia	25
4.3.3	Fatores técnicos	26
4.3.4	Guerra Eletrônica	27
4.4	Análise dos resultados por comparação entre alternativas	28
5	CONCLUSÃO	31
	REFERÊNCIAS	33
	APÊNDICE A – Termo TCLE	36
	APÊNDICE B – Questionário	37
	APÊNDICE C – Resultados obtidos por levantamento	38
	APÊNDICE D – Matrizes secundárias da análise AHP	39

1 INTRODUÇÃO

A entrada em operação do Sistema de Vigilância da Amazônia (SIVAM), bem como a modernização dos meios de detecção e o controle do espaço aéreo brasileiro, confirmou que as mais importantes rotas do narcotráfico passam pelo Brasil, vindas dos principais centros produtores e com o objetivo de suprir os mercados consumidores do Brasil, Europa e Estados Unidos da América (EUA), conforme elucidado por Coelho Junior (2012). Dessa forma, medidas mais rigorosas para o policiamento dos céus brasileiros seriam necessárias para negar o uso do espaço aéreo, principalmente na região da fronteira seca entre os países sul-americanos, sobretudo na região oeste do país.

Sendo assim, o monitoramento desta área torna-se uma missão extremamente importante, visto que a faixa limítrofe com os países vizinhos é extensa¹. Entretanto, há uma grande dificuldade de cobertura de toda a região de fronteiras. De acordo com Barbosa (2014), a ampla extensão e a permeabilidade da fronteira brasileira dificultam a fiscalização, por parte do Estado, no que se refere às rotas de tráfico que penetram em território nacional. A relevância do Estado depende de muitas ações conjuntas que trazem dificuldades ao país na manutenção do policiamento do espaço aéreo.

“Em função do grande volume de atividades ilícitas, as ações de instituições ligadas à segurança pública são fomentadas visando à implementação de políticas específicas e incentivos voltados à ampliação dessas ações e ao controle fronteiriço. A partir disso, as forças de segurança têm buscado implementar novas estratégias de vigilância fronteiriça por meio de instrumentos tecnológicos, por exemplo, o uso dos veículos aéreos não tripulados (VANT) e radares.” (PÊGO; MOURA, 2018, p.74).

O Comando da Aeronáutica (COMAER) é responsável pela aquisição de equipamentos, como os radares, para prover vigilância do espaço aéreo e de suas fronteiras, representando um elemento do preparo e emprego do poder aeroespacial.

Para o controle de tráfego aéreo em rota são utilizados radares primários (bidimensionais e tridimensionais) instalados em locais que permitem um melhor desempenho, alcance e visualização. Segundo Gomes (2011), os radares bidimensionais só fornecem informação de azimute e distância, não informando a altitude. No controle do tráfego aéreo, os radares secundários² são também instalados

¹Brasil (1979) define faixa de fronteira como a área indispensável à segurança nacional a faixa interna de 150 km (cento e cinquenta quilômetros) de largura, paralela à linha divisória terrestre do território nacional.

²São aqueles que, em vez de lerem sinais refletidos por objetos, obtêm sinais de resposta emitidos pelos *transponders* instalados nas aeronaves. O *transponder* é um transmissor de rádio na cabine do piloto, que se comunica por meio de um radar de solo com o controle de tráfego aéreo. Ele recebe um sinal de radar e envia os dados, contendo informações como a identificação da aeronave, a sua velocidade, a altitude e posição.

juntamente com os radares primários, que passam a fornecer para o controle de tráfego aéreo a altitude das aeronaves, caso estas estejam munidas do equipamento *transponder*. Os radares tridimensionais são utilizados pela defesa aeroespacial para detectar aeronaves que estão em desacordo com as regras da aviação civil. Eles conseguem detectar direção, velocidade e principalmente altitude, sem precisar das respostas da aeronave e da instalação em terra de um radar secundário para identificar um sinal de interrogação emitido pela aeronave que está sendo monitorada no espaço aéreo.

No Brasil, os sistemas radares são utilizados de forma compartilhada, prestando serviço para voos comerciais, sendo também responsáveis pela vigilância do espaço aéreo em prol da a defesa aeroespacial.

Os principais radares tridimensionais utilizados no Brasil para a vigilância da fronteira são os sistemas TRS 2230³, além do TPS-B34⁴, instalados em diferentes localidades para a realização de cobertura, principalmente a baixa altura e em regiões montanhosas. Recentemente, o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) iniciou um processo de substituição do sistema radar TRS 2230 na fronteira oeste pelo novo sistema LP23SST NG⁵.

Para a defesa aeroespacial, a cobertura radar a baixa altura realizada pelos sistemas radares é de fundamental importância. Segundo Corbelli (2003), a cobertura radar abaixo de 10.000 pés mostra-se como um grave problema, permitindo o sobrevoo de aeronaves em níveis inferiores sem detecção. O autor complementa que as falhas na cobertura radar, em baixa altitude, possibilitam o tráfego de incursões e o trânsito de voos ilícitos, principalmente, nas zonas de fronteiras, sendo um dos focos dos radares de vigilância utilizados na fronteira oeste.

Diante das mudanças no cenário atual de cobertura radar, vislumbrou-se a necessidade de análise, a partir de métodos científicos, desta cobertura radar, gerando o seguinte problema de pesquisa: qual a influência da substituição dos sistemas radar TRS 2230 por sistemas radar LP23SST NG na capacidade de detecção radar na fronteira oeste, para tráfegos voando a baixa altura?

A fim de responder o problema de pesquisa, foi estabelecido o objetivo geral de analisar a influência da substituição dos sistemas radar TRS 2230 por sistemas

³Radares tridimensionais fixos (3D) da Empresa francesa *Thales*.

⁴Radares tridimensionais da empresa norte americana *Lockheed Martin*.

⁵Radar primário da empresa *Omnisys*, subsidiária da empresa francesa *Thales*, derivado do radar de aproximação STAR NG, também da empresa *Thales*.

LP23SST NG na capacidade de detecção a baixa altura na fronteira oeste.

Com isso, no intuito de guiar o presente estudo, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos: enumerar as capacidades do sistema radar TRS 2230 e suas características; enumerar as capacidades do sistema radar LP23SST NG e suas características; e comparar as capacidades dos sistemas radar frente à demanda de cobertura da fronteira oeste do país.

Com a recente desativação do sistema radar TRS2230 e a implementação dos sistemas LP23SST NG na fronteira oeste do país, devem ser levados em consideração os fatores de análise de cobertura em função dos tráfegos ilícitos transnacionais que passam pela fronteira seca. No escopo deste trabalho, buscou-se uma crítica mais restrita, relacionada ao monitoramento das fronteiras, uma vez que todo e qualquer impacto nas estratégias de emprego do poder aeroespacial, relativo aos equipamentos e meios, deve ser analisado. Destarte, foi inferida a hipótese de que a substituição de um equipamento radar por outro, com diferentes características, pode interferir negativamente na capacidade de detecção radar a baixa altura, especificamente neste estudo tratando-se da fronteira oeste.

Sustentado por esta hipótese, o tema deste artigo tratou sobre sistemas radares tridimensionais utilizados para detecção radar à baixa altura na região de fronteira. Em consonância com o estabelecido pela Escola de Comando e Estado-Maior da Aeronáutica (ECEMAR), esse tema enquadrou-se na linha de pesquisa do poder aeroespacial, abordando o núcleo temático de estratégias de emprego do poder aeroespacial.

Esta pesquisa se justifica pela intenção de fornecer subsídios para a melhoria da detecção nas regiões fronteiriças de interesse do país. O sistema de defesa aeroespacial deve ser equipado com radares com grande capacidade de detecção a baixa altura e em regiões montanhosas de aeronaves sujeitas às regras de controle do espaço aéreo.

Adicionalmente, a região de fronteira nos remete ao Plano Estratégico de Fronteiras (PEF)⁶ que fortalece a prevenção, o controle, a fiscalização e a repressão dos delitos transfronteiriços e dos delitos praticados na região. Para Costa e Neves (2018), os conceitos de soberania, assumidos pela fronteira brasileira, demonstram que a função de integração passa a ser relevante para a defesa e segurança do

⁶Decreto Nº 7.496, de 8 de junho de 2011. Plano Estratégico de Fronteiras. Artigo 1º. (BRASIL, 2011).

Estado brasileiro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta o embasamento teórico estudado para inicialização do trabalho. Muitos dos conceitos aqui apresentados foram referenciados ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

2.1 Teoria de radares

Para fins deste estudo, é fundamental conhecer sobre a teoria dos radares. Segundo Fitzsimonds e Van Tol (1994), a tecnologia pode revolucionar a guerra. Esse desenvolvimento trouxe um fluxo de novos equipamentos com diversas aplicações militares. No início da Segunda Guerra Mundial, o motor de combustão interna, aeronaves, rádio e radar aprimorados possibilitaram saltos revolucionários para os alemães em suas campanhas. Segundo Brito e Antunes (2017), durante a Batalha da Inglaterra, em 1941, o radar, desenvolvido anos antes pelo físico Robert Watson-Watt, proporcionou uma considerável vantagem tática para a *Royal Air Force* (RAF) pois detectava a aviação inimiga, permitindo coordenar e enviar os caças *Spitfire* alemães no momento de combater as incursões inimigas.

Ainda, de acordo com Vargas (2013), em 07 de junho de 1981, caças F-16 da Força Aérea Israelense voaram a partir da cidade de *Etzion*, com a rota traçada para aproveitar as elevações do terreno, a baixa altitude, a fim de evitar radares jordanianos e árabes, para realizar ataques cirúrgicos à usina nuclear de *Osirak*, no Iraque, demonstrando assim a importância de equipamentos para detecção radar em baixas altitudes e terrenos montanhosos.

Além das teorias aplicadas aos radares, deve-se levar em consideração as características destes equipamentos, em especial aos equipamentos estudados neste trabalho. Os equipamentos são dotados de alta tecnologia. Kotler e Keller (2006) ressaltam que as preferências dos consumidores para determinado produto estão naqueles produtos que têm qualidade e desempenho superiores, ou que sejam inovadores.

Ainda neste contexto, Mota e Oliveira (2008) consideram que o desenvolvimento de inovações militares se reveste de importância dupla, uma vez que

oferece novas possibilidades comerciais, principalmente com o desenvolvimento de tecnologias de uso dual e possui relevância estratégica central no contexto da defesa nacional.

2.2 Método AHP

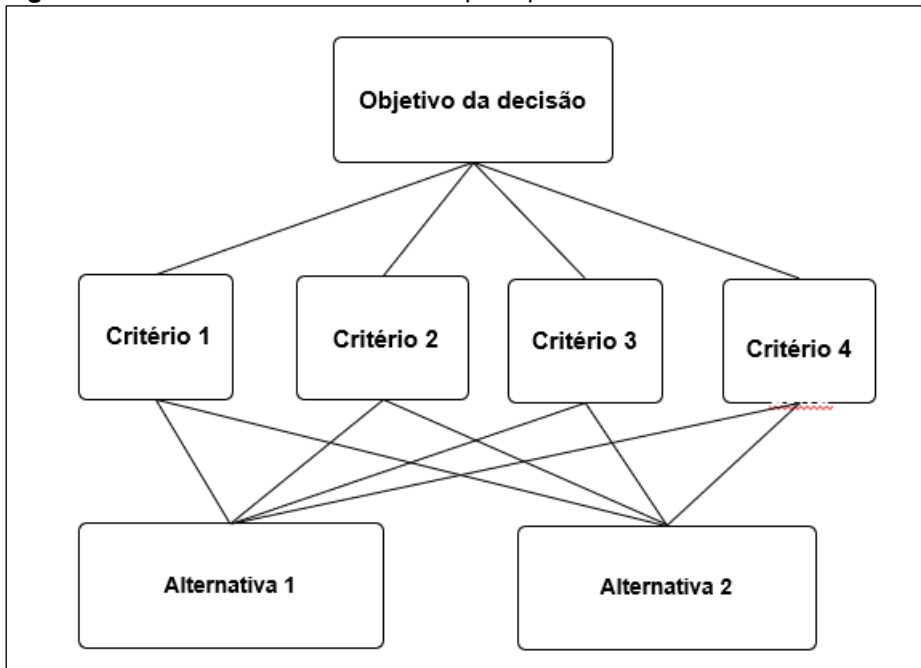
Neste trabalho, foi utilizada metodologia de apoio à decisão multicritério, que consiste em um conjunto de métodos e técnicas para auxiliar na tomada de decisões quando existe a influência de múltiplos critérios. A metodologia multicritério se difere das metodologias tradicionais de decisão pelo nível de utilização dos valores qualitativos dos decisores nos modelos de decisão, tornando possível assim a análise de forma diversificada de acordo com os critérios de valor de cada especialista, de acordo com Zeleny (1982). O autor complementa que a decisão é a alternativa para resolver problemas de objetivos conflitantes que exigem uma solução ótima e conduzem à definição de uma solução de compromisso.

Costa (2006) ressalta que essas metodologias não substituem a função do decisor, mas podem auxiliar na escolha da melhor ou mais adequada decisão a partir do cenário apurado pelo decisor e das prioridades definidas, considerando também as alternativas conhecidas e os resultados esperados.

Para análise multicritério, foram utilizados os conceitos *Analytic Hierarchy Process* (AHP), preconizados por Saaty (1990). Essa teoria foi criada nos anos 70 e é aplicada em processos de tomada de decisão em variados cenários complexos, em que pessoas trabalham em grupo para tomar decisões e as análises subjetivas humanas, julgamentos e consequências possuem repercussão de longo prazo.

Segundo Salomon (2002), o método AHP é executado por meio de três fases: estruturação de modelos, realização de julgamentos e síntese dos resultados. A estruturação consiste na obtenção do modelo de decisão, que no AHP possui a forma de uma hierarquia. A Figura 1 traz o exemplo de um modelo com três níveis hierárquicos. Nesta etapa, há o entendimento do problema, sendo estruturado em nesses níveis, possibilitando ao decisor uma visão geral do sistema.

Figura 1 – Estrutura de decisão hierárquica por AHP em três níveis.



Fonte: Adaptado de Salomon (2002).

Na fase seguinte do AHP, o desempenho global de cada alternativa é obtido ponderando-se o desempenho da alternativa em cada critério pelo peso do critério. Por meio deste modelo hierárquico determina-se a influência de cada elemento em níveis distintos, permitindo o cálculo dos impactos dos elementos sobre o nível mais baixo e sobre os objetivos gerais, de acordo com Saaty (1991).

No método AHP, o decisor deve comparar paritariamente os elementos de um nível da hierarquia conforme o critério de cada um dos elementos em interação em uma camada superior da hierarquia, segundo Costa (2006).

De acordo com Saaty (2008), para uma melhor comparação par a par, utiliza-se uma escala numérica que indica o peso dos elementos em relação aos outros, levando-se em conta o critério ou propriedade ao qual são comparados. A Tabela 1 representa a escala numérica de comparação de Saaty, conforme Roche e Vejo (2004).

Tabela 1 – Escala Numérica de Saaty.

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Igual importância.	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Moderada importância.	A experiência e julgamento favorecem um elemento sobre o outro.
5	Forte importância.	Um elemento é fortemente favorecido.
7	Importância muito forte.	Um elemento é muito fortemente favorecido sobre o outro.
9	Extrema importância.	Um elemento é favorecido pelo menos com uma ordem de magnitude de diferença.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários.	Usados como valores de consenso entre as opiniões.

Fonte: Adaptado de Roche e Vejo (2004).

De acordo com Batista (2014), o AHP converte os dados concretos em valores numéricos que podem ser processados e comparados sobre toda a extensão do problema. Um peso numérico, ou prioridade, é derivado para cada elemento da hierarquia, permitindo que elementos distintos e frequentemente incomensuráveis sejam comparados entre si de maneira racional e consistente. Esta potencialidade distingue o AHP de outros métodos de tomada de decisão.

Depois de estabelecidos aspectos teóricos relacionados ao radar e ao método consagrado AHP para este trabalho, é possível descrever como foi realizada a dinâmica metodológica para responder ao problema de pesquisa.

3 METODOLOGIA

Neste tópico, para responder ao problema de pesquisa, aborda-se como foi feita a aplicação do método de multicritério de tomada de decisão AHP para comparação entre as duas alternativas de radares.

De acordo com Gil (2017), este trabalho pode ser classificado como exploratório, uma vez que teve o propósito de estabelecer o aprimoramento de ideias relacionadas às necessidades de cobertura radar na região fronteiriça oeste do território nacional.

Com base nos procedimentos técnicos utilizados, a pesquisa foi bibliográfica e documental, visto que a coleta de dados foi desenvolvida a partir da revisão de livros e artigos científicos e outros arquivos do gênero disponíveis. O intuito foi apontar e descrever as capacidades e características do radar TRS 2230, bem como do

LP23SST NG, possibilitando o estabelecimento de dados necessários para um bom entendimento do assunto em questão, de forma a responder os dois primeiros objetivos específicos deste trabalho. Para tal, foram utilizados dados, já existentes em fontes abertas, sobre parâmetros dos dois radares estudados.

Para a solução do último objetivo de pesquisa de realizar a comparação entre os dois radares, inicialmente foram utilizadas as características listadas dos sistemas TRS 2230 e LP23SST NG para a confecção do questionário aos especialistas.

Para a aplicação do instrumento de coleta de dados, os participantes foram abordados, individualmente, via correio eletrônico, por meio da ferramenta tecnológica *Google Forms* e informados sobre os objetivos, finalidades, riscos e benefícios do estudo e convidados a participar, mediante o assentimento e confirmação eletrônica do Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE), conforme explicitado no Apêndice A.

O questionário, conforme exposto no Apêndice B, foi construído com base em quatro proposições relacionadas às principais características dos radares usados para a defesa aeroespacial. Para cada proposição, os respondentes deveriam expressar um grau de concordância tendo como base uma escala Likert de 5 itens de concordância e discordância, com pontuação de 1 a 5. Ainda, ao final do questionário foi elaborada uma pergunta aberta de forma a coletar opiniões livres acerca do assunto.

O questionário foi submetido a um pré-teste inicial com oficiais com conhecimento na área de controle do espaço aéreo, membros do Curso Avançado de Comando e Estado-Maior da Aeronáutica (CACEM), do ano de 2021. O objetivo foi verificar inconsistências, ambiguidade ou linguagem inacessível.

A presente pesquisa desenvolveu-se no âmbito do Segundo Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle do Espaço Aéreo (CINDACTA 2), mais especificamente no Segundo Centro de Operações Aéreas Militares (COPM2), órgão responsável pela vigilância do espaço aéreo na região fronteira oeste, sendo essa uma amostra de um universo mais abrangente.

A população do estudo foi composta por oficiais e graduados, que atuam diretamente com a atividade de controle do Espaço Aéreo no COPM2, independente de posto hierárquico. Este universo foi selecionado por representar fontes primárias e por ser uma unidade de análise que apresenta características uniformes em termos de capacitação, cultura e pensamento operacional.

Posteriormente, com o intuito de hierarquizar os atributos de comparação usados na pesquisa, foram utilizados os resultados obtidos no questionário, conforme explicitado no Apêndice C. As respostas foram tabuladas, contemplando os principais critérios referentes aos radares TRS 2230 e LP23SST NG. Essa ação foi realizada por meio da média dos resultados obtidos nas respostas dos 50 especialistas.

Esses critérios foram definidos por especialistas e foram analisados e comparados paritariamente, de acordo com os preceitos de Saaty (1990), por meio do método AHP. O método foi escolhido por realizar cálculos matemáticos, sendo usado em muitos trabalhos como método consagrado de análise multicritério, e por passar pelas três fases descritas por Salomon (2002) de estruturação de modelos, realização de julgamentos e síntese dos resultados. Vale ressaltar que foi utilizada uma abordagem qualitativa e quantitativa neste trabalho, transformando julgamentos e dados diversos em escala numérica para os quatro critérios elencados para os dois radares: detecção radar, topografia, fatores técnicos e Guerra Eletrônica.

Para auxílio dos cálculos executados, foi utilizado o *software SuperDecisions*, que é utilizado para auxílio à tomada de decisão, baseado no método AHP. Os dados dos questionários foram inseridos de forma direta no *software* para posterior comparação entre as duas alternativas (TRS 2230 e LP23SST NG) nos quatro critérios estudados.

Para os critérios elencados, foram atribuídos pesos na escala numérica de Saaty de 1 a 9 para cada critério. De acordo com Saaty (2008), foi possível obter, a partir da comparação par a par, a melhor alternativa proposta (radar), a fim de responder o problema de pesquisa.

A presente pesquisa se limitou ao estudo do sistema TRS 2230 e LP23SST NG, sendo que o primeiro sistema já se encontra desativado. Os demais equipamentos utilizados para a cobertura radar de aeronaves civis não foram considerados neste estudo. Em complemento, este trabalho se limitou à cobertura radar, conforme elencado por especialistas, havendo outros parâmetros disponíveis para comparação.

Ressalta-se que a presente pesquisa não teve a pretensão de ser elemento de tomada de decisão e escolha de equipamento para a Força Aérea Brasileira (FAB), mas apenas servir de subsídios para responder ao problema em questão de análise da cobertura radar a baixa altura no contexto da aplicação do poder aeroespacial.

Conhecendo-se como foram trabalhados os métodos para essa pesquisa, foram apresentados os dados com posterior análise de seu conteúdo.

4 APRESENTAÇÃO DOS DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para apresentação de dados, inicialmente, foram listadas as capacidades e características mais importantes dos sistemas radar TRS 2230 e LP23SST NG, que respondem aos dois primeiros objetivos específicos. Assim, foram elencados com detalhes os quatro critérios para os dois sistemas radares, para na sequência realizar a comparação por meio do método AHP e responder ao terceiro objetivo específico.

4.1 Características do Sistema TRS 2230

De acordo com Santana (2019) o equipamento radar TRS-2230 é um radar fixo, de detecção tridimensional. Ele pode exibir dados de azimute, distância detectada e altitude do alvo, e pode funcionar em todas as condições climáticas, tanto durante o dia quanto durante a noite. O equipamento pode ser descrito de acordo com as informações do Quadro 1.

Quadro 1 – Características do sistema radar TRS 2230.

Característica	Valoração
Velocidade de Varredura	6 RPM (rotações por minuto)
Número simultâneos de alvos	90
Tipo de antena	Planar – <i>Phased Array</i>
Dimensões	5 x 5,5 metros
Banda de Operação	E/F
Largura de Banda	200 Mhz

Fonte: Adaptado de Santana (2019) e Adjie (2019).

Para Adjie (2019), o sistema radar TRS 2230 também é equipado com Radar de Vigilância Secundária, que é usado para distinguir aeronaves aliadas de aeronaves inimigas - *Identification Friend or Foe* (IFF). As partes componentes do radar TRS-2230 são: Unidade de Antena, Unidade de Transmissor, Unidade de Receptor e Processamento, Centro de Controle e Relatório de Correção.

Quanto às capacidades de detecção, Adjie (2019) afirma que o TRS-2230 pode detectar alvos até uma altura de 30.000 pés, sendo capaz de detectar alvos aéreos de 2 metros quadrados a uma distância de aproximadamente 230 NM (milhas náuticas). O radar possui ainda uma cobertura de elevação de 20 graus e capacidade de realizar varredura eletrônica vertical, mesmo estando em regiões montanhosas.

4.2 Características do Sistema LP23SST NG

O outro sistema radar deste estudo é o LP23SST NG. Segundo a fabricante, Omnisys (2020), o equipamento é composto por um radar primário em banda L com alcance de até 250 milhas náuticas, perfeitamente adaptado para a vigilância primária em grandes áreas do espaço aéreo em rota.

Esses equipamentos, apesar de serem bidimensionais, representam uma grande evolução tecnológica, pois, em comparação ao TRS 2230, compreendem ferramentas mais modernas e menor gasto de energia.

Em complemento, é um sistema totalmente dual para aplicações civis e militares, que oferece opções de altimetria e a capacidade de rastrear alvos rápidos e lentos como helicópteros, bem como alvos pequenos como veículos aéreos não tripulados (VANT). Além disso, pode dispor de características militares concretas como agilidade de frequência, detecção de outras plataformas que possam interferir no sistema eletrônico (interferidores). Ademais, pode atuar na seleção de frequência com menos interferência, tornando-se mais resistente às contramedidas eletrônicas do que qualquer outro radar civil.

Outras características do equipamento podem ser observadas no Quadro 2, de acordo com informações do fabricante, Omnisys (2019).

Quadro 2 – Características do sistema radar LP23SST NG.

Característica	Valoração
Velocidade de Varredura	5/6 RPM (rotações por minuto)
Configuração de Potência	8/16 módulos TX
Tipo de antena	Planar – <i>Phased Array</i>
Polarização	Linear/Circular
Banda de Frequência	1.250 a 1350 MHz (Banda L)

Fonte: Adaptado de Omnisys (2019).

O uso do LP23SST NG apresenta alguns benefícios muito claros que reduzem o seu custo do ciclo de vida. Vários aspectos únicos o tornam uma proposta muito atraente para aplicações civis e militares. Sua concepção de arquitetura compacta reduz o consumo de energia e facilita a instalação em campo. Possui melhor balanço de potência, melhor estabilidade do sistema, maior alcance dinâmico e maior largura de banda instantânea, características que propiciam um aumento no desempenho da detecção dos alvos.

Alinhado com as últimas gerações de plataformas de vigilância da empresa Thales, o radar LP23SST NG apresenta um mapa espectral de interferência e possui maior capacidade de filtragem das interferências provocadas por parques eólicos.

Os dois sistemas radares tem capacidade de prover vigilância radar tanto para aeronaves civis, quanto militares, mostrando-se importantes para a execução das atividades de dualidade de controle do espaço aéreo, de acordo com os preceitos elucidados por Mota e Oliveira (2008).

Os sistemas radares, conforme elucidado por Fitzsimonds e Van Tol (1994) são equipamentos dotados de tecnologia para atuar na vigilância do espaço aéreo, sendo fundamentais para a manutenção da soberania das fronteiras.

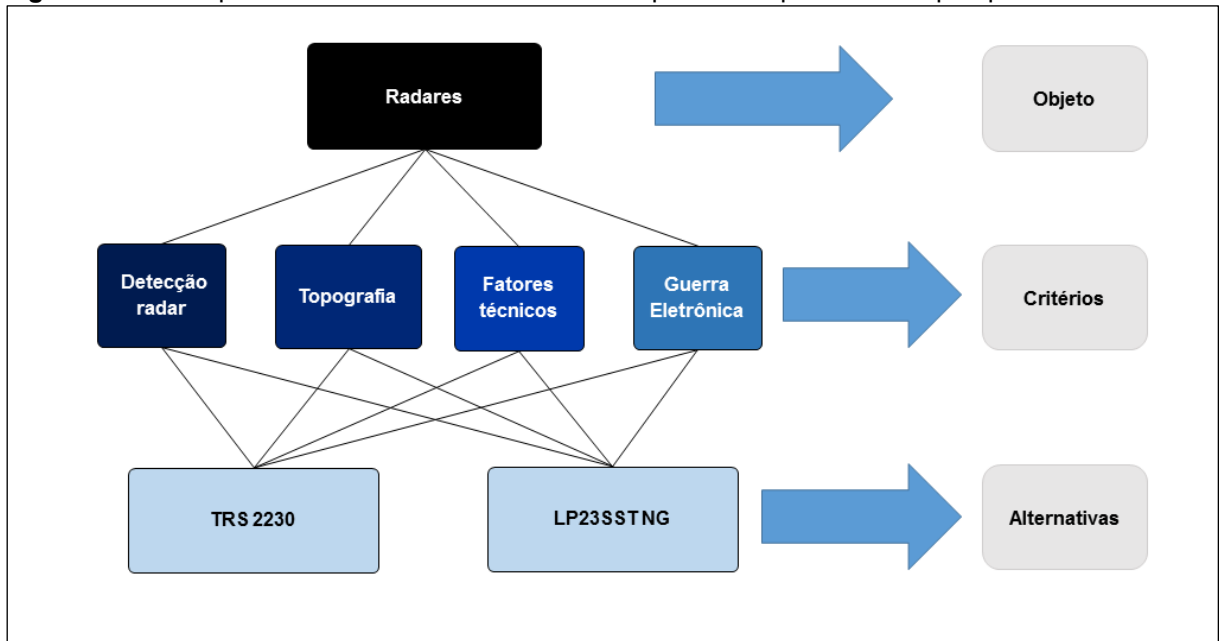
4.3 Critérios de comparação de sistemas radares

De acordo com Saaty (2008) é necessária uma decomposição em hierarquia de critérios para a análise da melhor alternativa. Inicialmente, foi possível montar uma matriz principal com os critérios de avaliação das alternativas. Os critérios foram elencados por meio de questionário a especialistas, baseados nas características listadas dos dois radares.

O questionário utilizado para coleta de dados foi respondido por 50 oficiais e graduados, especialistas em controle de tráfego aéreo, obtendo-se um censo adequando em relação ao universo populacional da pesquisa.

Os dados coletados foram divididos em quatro grupos de análise relativos aos principais requisitos elencados como fatores fundamentais para um radar identificar tráfegos voando a baixa altura na região transfronteiriça do Brasil, conforme figura 2, estruturada de acordo com os preceitos de Salomon (2002).

Figura 2 – Hierarquia demonstrativa do método AHP aplicado ao problema de pesquisa.



Fonte: O autor.

Dentre os requisitos listados, foi procedida a análise de cada um dos requisitos constantes para cada um dos radares, em ordem de prioridade elencada pelos especialistas. O primeiro quesito diz respeito à detecção radar a baixa altura.

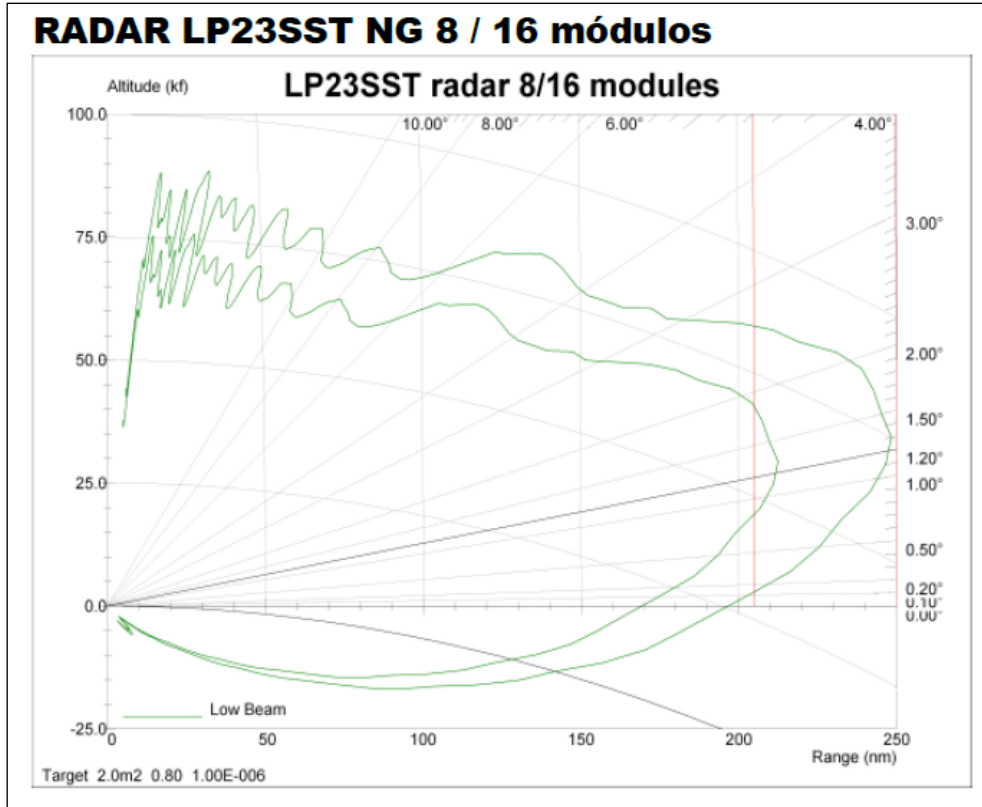
4.3.1 Detecção radar

Inicialmente, para critério de comparação, o primeiro item elencado pelos especialistas foi a detecção radar a baixa altura. Para Wolff (2020), a cobertura de baixa altitude é limitada pela sombra formada pela curvatura da terra. Mesmo que se tenha uma grande organizada de radares, haverá dificuldades de realizar a cobertura, para uma aeronave poder voar abaixo do limiar de detecção radar.

À medida que a aeronave voa mais baixo, a detecção diminui, principalmente abaixo de 10.000 pés, tendo a necessidade de alocação de equipamentos ou aeronaves para evitar voos ilícitos. O sistema TRS-2230, de acordo com Adjie (2019) possui a capacidade de “olhar para baixo”, proporcionando maior capacidade de detecção a baixa altura, mesmo possuindo sistema de varredura eletrônica. O sistema LP23SST NG, conforme a fabricante Omnisys (2020), a despeito de não ser um radar tridimensional, possui capacidade de detecção 3D, realizado por processamento de sinal simultâneo dos dados recebidos dos dois feixes da antena (cobertura alta e cobertura baixa). Além disso, de acordo com análise do diagrama de cobertura do sistema LP23SST NG é possível verificar que o valor de detecção decresce na medida

em que a altitude diminui, conforme Figura 3, fatores que dificultam a detecção, conforme evidenciado por Vargas (2013).

Figura 3 – Diagrama de cobertura radar LP23SST NG.



Fonte: Omnisys (2020).

Em complemento, devido limitações da pesquisa, não foram inseridos os dados de detecção a baixa altura do sistema TRS 2230, porém pela Tabela 2 é possível realizar uma comparação de detecção dos radares para o FL 300, com dados extraídos de fontes abertas para o TRS 2230 e pela análise da Figura 3 para o LP23SST NG. Nota-se que os dois valores para o LP23SST NG variam em função da configuração de potência em 8 ou 16 módulos de transmissão respectivamente.

Tabela 2 – Comparação de Detecção Radar no FL 300.

Comparação de detecção radar	FL 300 (NM)
TRS2230	228
LP23SST NG	210/245

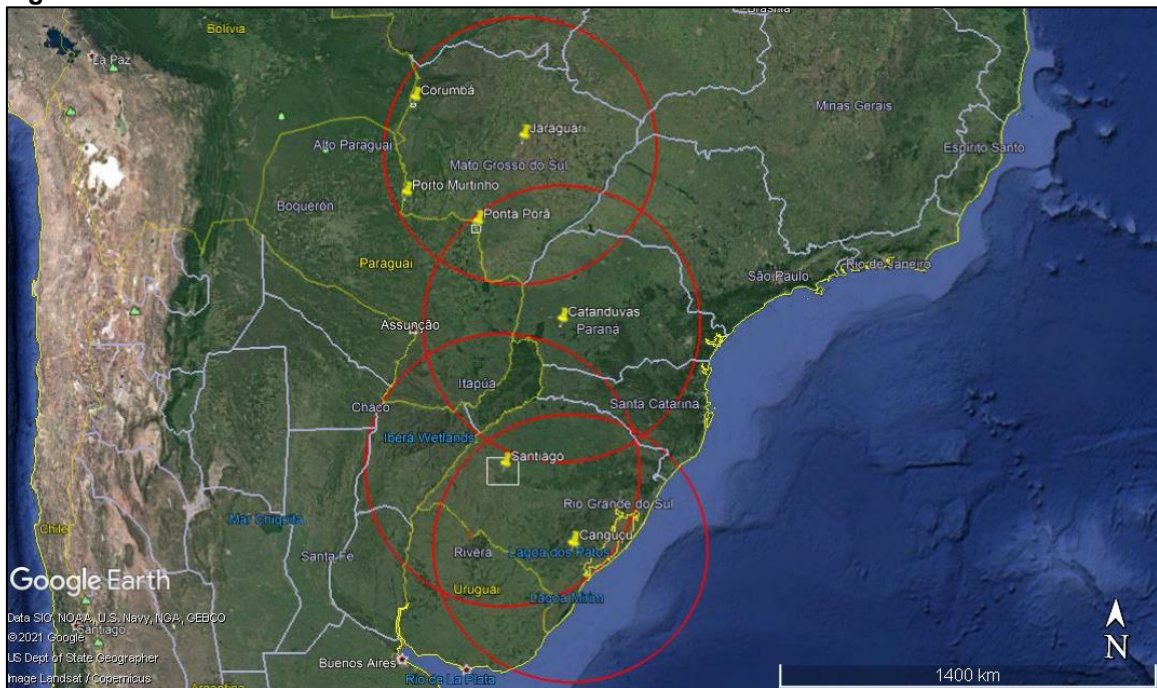
Fonte: O autor.

Além disso, outro fator que interfere na capacidade de detecção a baixa altura é a disposição geográfica dos radares em diferentes localidades. Sant'anna et al. (2010), por meio de estudos, chega à conclusão de que há detecção radar em todo

território nacional até o FL 200. A detecção a baixa altura depende então do posicionamento de radares e de diferentes fatores que possam afetar ou aumentar a cobertura.

Na Figura 4, vemos que a distribuição dos radares TRS 2230 (FL 300) nos Destacamentos de Controle do Espaço Aéreo (DTCEA) de Canguçu-RS, Santiago-RS, Catanduvas-PR e Jaraguari-MS. Vale ressaltar que, à medida em que a altitude diminui, os círculos que contemplam a detecção radar tendem a diminuir, e quando não há sobreposição de detecção, há a possibilidade de falhas na detecção radar.

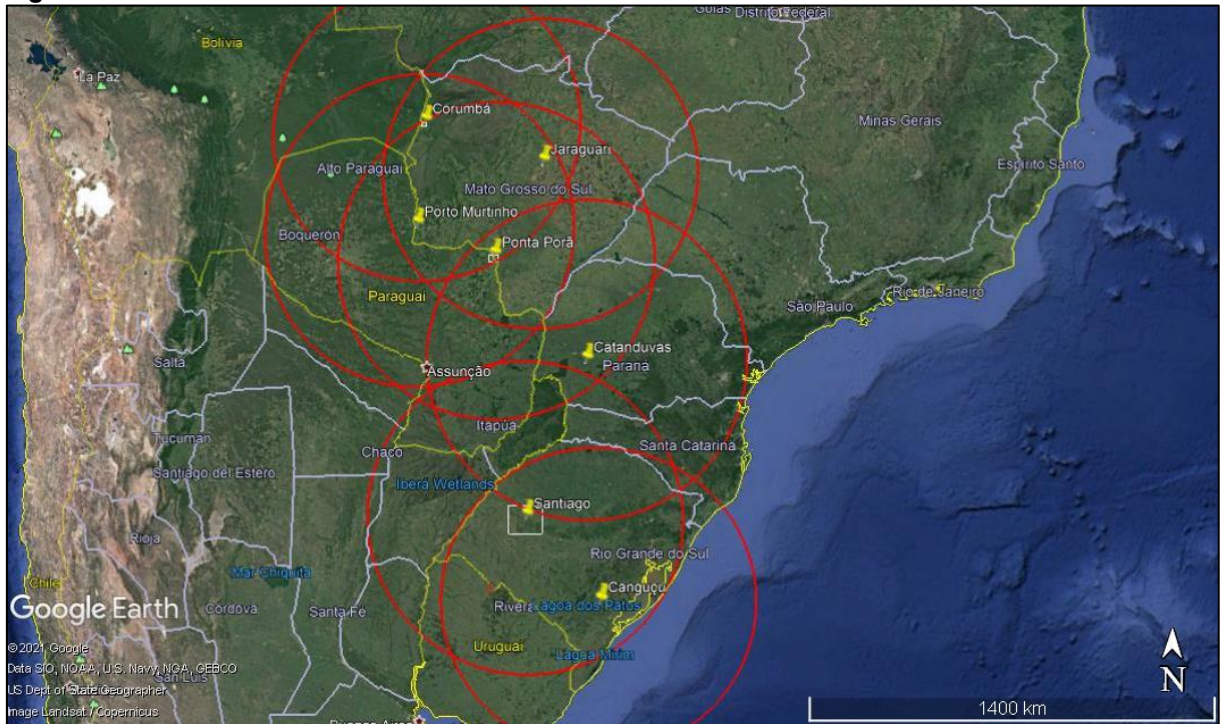
Figura 4 – Cobertura radar TRS 2230 no FL 300 na fronteira oeste.



Fonte: Google Earth (2021).

Com relação ao sistema LP23SST NG, a cobertura atual para a fronteira oeste se dá pela sobreposição da cobertura radar dos sistemas de Canguçu-RS, Santiago-RS, Catanduvas-PR, Jaraguari-MS, Corumbá-MS e durante esta pesquisa foram instalados dois novos radares de Porto Murtinho-MS e Ponta Porã-MS. A Figura 5 fornece uma análise da cobertura atual da fronteira somente usando os meios de detecção do LP23SST NG.

Figura 5 – Cobertura radar LP23SST NG no FL 300 na fronteira oeste.



Fonte: Google Earth (2021).

Percebe-se que a região fronteira oeste, a 30.000 pés de altitude, tem cobertura assegurada com a detecção radar do novo equipamento. As demais altitudes, como a baixa altura, são calculadas em função do alcance radar do equipamento de acordo com características distintas atreladas ao radar.

Enfim, o sistema TRS 2230 oferece capacidade de detecção primária para aeronaves voando a baixa altura por suas características de radar tridimensional, porém o sistema LP23SST NG também possui capacidade de altimetria, permitindo a identificação de alvos com precisão, além de possuir uma melhor distribuição geográfica de meios na região fronteira oeste do país.

Sendo assim, para critério de comparação via AHP, de acordo com Roche e Vejo (2004), o sistema LP23SST NG apresenta moderada importância no critério detecção radar sobre o sistema TRS 2230 (grau 3 na escala de Saaty, conforme Apêndice D).

4.3.2 Topografia

A topografia é também outro fator citado pelos especialistas como critério para a presente pesquisa. Wolff (2020) ressalta que terrenos irregulares, como colinas ou montanhas e vales, também têm impacto sobre o tamanho da zona morta, que é a

região na qual o radar não consegue realizar sua detecção.

Segundo Santana (2019), no controle de Tráfego Aéreo em Rota são usados os radares primários, instalados em locais que propiciem melhores desempenhos em alcance e visualização, como no topo de montanhas, que é uma forma de tentar evitar a topografia adversa para a cobertura radar.

Gomes (2011) frisa que a vigilância radar em altitudes mais baixas (abaixo de 10.000 pés) é importante para a defesa aeroespacial, porém é dificultada pelo relevo e pelas próprias características da propagação radar.

Na medida em que tráfegos voam em altitudes menores, também são suscetíveis a voar entre vales e montanhas, fazendo com que a varredura radar não cubra o espaço necessário para identificação da aeronave. Dessa forma, fatores como “olhar para baixo” disponível no TRS 2230 são fundamentais para este tipo de reconhecimento. Ao mesmo tempo, a melhor distribuição geográfica dos radares LP23SST NG contribui para a identificação destas aeronaves.

Sendo assim, para critério de comparação via AHP, de acordo com Roche e Vejo (2004), o sistema LP23SST NG apresenta moderada importância no critério topografia sobre o sistema TRS 2230 (grau 3 na escala de Saaty, conforme Apêndice D).

Ademais, percebe-se ainda que existe a possibilidade de outras soluções para esse problema da baixa detecção em função da altitude e topografia. Corbelle (2003) diz que é possível, para sanar esses problemas, a instalação de estações-radar transportáveis para prover cobertura radar em locais não cobertos pelas estações fixas, localizadas estrategicamente onde existe um alto índice de atividades suspeitas ou utilizar aeronaves de vigilância aérea (E-99), equipadas com radares aeroembarcados, para detectar e rastrear alvos abaixo de 10.000 pés. O autor sugere uma alternativa viável como a instalação de equipamentos *Over-the-horizon Radar* (OTHR), radares de alcance continental, que possuem capacidade de transmissão e recepção por meio de ondas ionosféricas.

4.3.3 Fatores técnicos

Os fatores técnicos são outros elementos elencados pelos especialistas para a comparação dos dois radares.

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2002), a manutenção possui uma

significativa importância no atendimento dos objetivos de desempenho dos equipamentos e que mantê-los de forma adequada é um dos pilares para conseguir melhor qualidade dos produtos e produtividade da de uma organização.

Para análise de fatores técnicos, os sistemas LP23SST NG, por serem equipamentos novos, são sujeitos a apresentarem uma maior disponibilidade e baixa manutenção de acordo com os preceitos acima, além de um menor ciclo de vida, elucidados nas características do sistema LP23SST NG.

Além disso, o radar LP23SST NG apresenta baixo consumo de energia. Em contrapartida, sistemas tridimensionais demandam maior consumo de energia devido às características observadas do sistema TRS 2230.

Sendo assim, para critério de comparação via AHP, de acordo com Roche e Vejo (2004), o sistema LP23SST NG apresenta forte importância com relação a fatores técnicos sobre o sistema TRS 2230 (grau 5 na escala de Saaty, conforme Apêndice D).

4.3.4 Guerra Eletrônica

De acordo com Penteado (2010), o sistema TRS 2230 é equipado com um módulo de Guerra Eletrônica (GE), com plenas funcionalidades para emprego operacional no âmbito da Força Aérea Brasileira. Dentre outras medidas, o sistema era capaz de realizar Medidas de Proteção Eletrônica, dentre outras capacidades. Nos primórdios desta atividade de GE, foram realizados diversos cursos na localidade de Barra do Garças-MT, porém, após modernizações e atualizações, foram utilizados os sistemas de Gama-DF, Canguçu-RS e Santiago-RS. Atualmente, cursos de Guerra Eletrônica em radares são realizados utilizando o sistema TPS-B34 do 4º/1º GCC, sediado em Santa Maria-RS.

O LP23SST NG, segundo Fontes (2021), é equipado com funções de proteção eletrônica que o resguarda contra interferências eletrônicas, sejam elas intencionais ou não. Dentre essas características estão a capacidade de agilidade de frequência, radiais interferidas e de frequência menos interferida.

Sendo assim, percebe-se que os dois radares elencados neste estudo possuem capacidades de guerra eletrônica que possam contribuir para facilitar a detecção de alvos voando de forma irregular na fronteira oeste do país, possuindo valores de igual importância e/ou irrelevantes, de acordo com Roche e Vejo (2004),

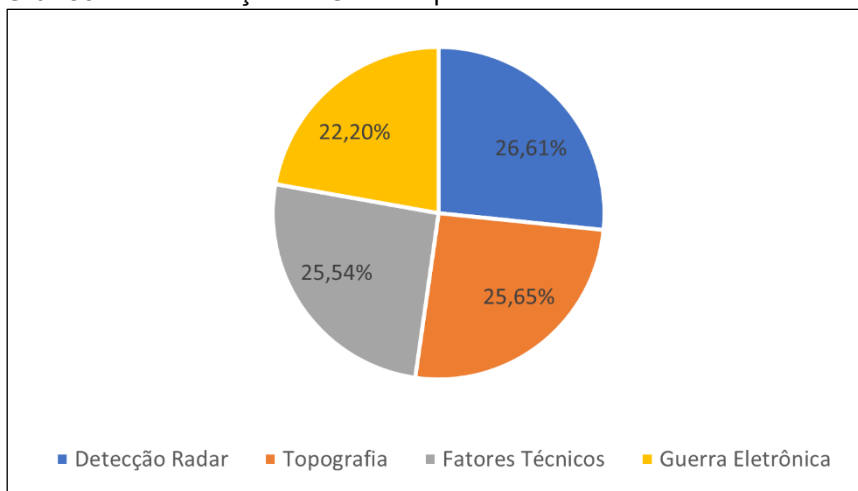
portanto adquirindo grau 1 na escala de Saaty, conforme Apêndice D.

De posse dos critérios minuciosamente estudados, foi possível realizar uma comparação adequada, dentro de parâmetros que busquem atingir os preceitos de Kotler e Keller (2006), de garantia de um produto de qualidade que possa atender ao objetivo proposto da pesquisa, conforme visto a seguir.

4.4 Análise dos resultados por comparação entre alternativas

Por meio de questionário aos especialistas, foi possível hierarquizar os critérios estudados conforme Gráfico 1 por meio de Escala Likert, de acordo com a média dos resultados obtidos por questionário e mostrados no Apêndice B deste artigo, estruturando os níveis hierárquicos para comparação paritariamente, conforme os preceitos de Costa (2006).

Gráfico 1 – Priorização de Critérios para Radares.



Fonte: O autor.

Para análise por AHP, visando realizar a comparação entre os sistemas radares TRS2230 e LP23SST NG e responder ao terceiro objetivo específico, foi utilizado o *software SuperDecisions*, disponível para *download* gratuito no site do projeto (SuperDecisions, 2021).

Na estruturação da hierarquia de critérios, a escolha entre o radar para detecção a baixa altura na região fronteiriça oeste foi definida como objetivo da análise, no topo do nível hierárquico, como estabelecido por Salomon (2002). Em seguida, foram inseridos os critérios, conforme identificados na seção 4.3. Esses critérios foram atribuídos em função dos resultados obtidos pelo questionário e inseridos de forma direta no *software*, conforme Figura 6, perfazendo assim o valor

para cada critério, o que não corresponde a uma igualdade de valores, em função do grau de importância atribuído pelos especialistas por escala Likert. Para efeito de valores retirados dos questionários para inserção direta no *software SuperDecisions*, foi calculada a média das respostas de todos os participantes, considerando a correlação de 1 a 5.

Figura 6 – Valores relativos aos critérios inseridos de forma direta no AHP.

Node	Cluster	Graphical	Verbal	Matrix	Questionnaire	Direct
Detecção Radar				0.2661		
Fatores Técnicos				0.2554		
Guerra Eletrônica				0.222		
Topografia				0.2565		

Fonte: *SuperDecisions* (2021).

Após isso, foram apontadas as duas alternativas: o radar TRS 2230 e o LP23SST NG. Com a hierarquia definida, cada uma das alternativas foi comparada de acordo com os quatro critérios estabelecidos, podendo desta forma fazer uma conversão de dados concretos em valores numéricos, conforme estabelecido por Batista (2014). Essa comparação foi feita a partir de uma escala de importância relativa entre duas alternativas propostas por Saaty, em Roche e Vejo (2004), em que valores que variam entre 1 e 9 foram atribuídos a cada comparação de forma que a escala determinasse a importância relativa de uma alternativa com relação à outra, explicitados no Apêndice D. Esses valores foram inseridos pelo decisor, utilizando-se os dados obtidos na seção 4.3., referente aos critérios dos radares.

Sendo assim, para grau de comparação na escala de Saaty (1990), foi possível analisar, como resultado, a relação de importância por critério definido, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 – Relação de importância por critério Definido.

Critérios	Relação de importância
Detecção radar	LP23SST NG > TRS 2230
Topografia	LP23SST NG > TRS 2230
Fatores Técnicos	LP23SST NG > TRS 2230
Guerra Eletrônica	LP23SST NG = TRS 2230

Fonte: O autor.

Preenchidas as matrizes secundárias de importância, disponíveis no Apêndice D, foi possível obter o resultado final por meio de cálculos realizados pelo *software SuperDecisions*, conforme explicitado na figura 6.

Figura 7 – Resultado final da análise AHP para radares.

Name	Normalized by Cluster
LP23SST NG	0.71578
TRS 2230	0.28422
Detecção Radar	0.26610
Fatores Técnicos	0.25540
Guerra Eletrônica	0.22200
Topografia	0.25650

Fonte: *SuperDecisions* (2021).

Este resultado demonstrou um grau de importância de 71,58% do LP23SST NG, tendo atingido o sistema TRS 2230 porcentagem de 28,42%. Com isso chegou-se à resposta ao problema de pesquisa do presente artigo, baseado na prevalência do LP23SST NG nos critérios de detecção radar, topografia e fatores técnicos com relação ao TRS 2230, bem como em um fator de igual importância para critério Guerra Eletrônica, na escala numérica de Saaty.

Concluída a análise, seguindo-se o método desenvolvido por Saaty (1990), cumpriu-se o objetivo geral deste trabalho, que consistiu em analisar qual a influência da substituição dos sistemas radar TRS 2230 por sistemas LP23SST NG na capacidade de detecção a baixa altura na fronteira oeste, concluindo-se que houve incremento positivo e uma melhoria com a substituição dos radares para a cobertura radar realizada na região fronteira oeste, com a prevalência do sistema LP23SST NG de 71,58%, calculada por meio do método AHP.

Desta forma, percebe-se que a hipótese de que a substituição do sistema radar TRS 2230 pelo sistema LP23SST NG poderia interferir negativamente na capacidade de detecção radar a baixa altura, na fronteira oeste, foi refutada.

Este resultado corrobora os estudos de Gomes (2011), que ressaltam a importância dos radares para esse tipo de estudo, de forma ao estabelecimento posterior da verificação da melhor cobertura a baixa altura por sistemas radares.

5 CONCLUSÃO

A manutenção da soberania está relacionada a coibir a entrada do território nacional de ilícitos transnacionais oriundos dos demais países sul-americanos. Para isso, medidas foram sendo implementadas para a melhoria da segurança, principalmente na fronteira oeste. A aquisição de equipamentos modernos proporcionou uma melhor cobertura radar na região. Com os radares tridimensionais foi possível incrementar ações para coibir tráfegos ilícitos voando em baixas altitudes. Porém, nos últimos anos, radares como o TRS 2230 passaram a ser substituídos pelo sistema LP23SST NG. Desta forma, o presente estudo teve por objetivo analisar qual a influência da substituição dos sistemas radar TRS 2230 por sistemas LP23SST NG na capacidade de detecção a baixa altura na fronteira oeste.

Por meio de revisão de literatura, foram elencadas as características e capacidades dos dois radares elencados neste estudo, baseado em pesquisa documental.

De posse das características dos equipamentos, como método de coleta de dados, foi utilizado um questionário, utilizado com a finalidade de realizar a hierarquização dos principais critérios dos dois equipamentos. O questionário foi respondido por 50 especialistas de controle do espaço aéreo, entre oficiais e graduados do CINDACTA II, mais especificamente no COPM2.

Após isso, foi escolhido o método AHP, desenvolvido por Saaty, como método de apoio à decisão, para realizar a comparação entre os dois radares, baseado nos dados coletados junto aos especialistas, utilizando o *software SuperDecisions*.

Com isso, foram utilizados quatro critérios para realizar a comparação par a par das duas alternativas, hierarquizadas de forma direta no sistema. Os critérios utilizados foram cobertura radar, topografia, fatores técnicos e Guerra Eletrônica. Os critérios foram analisados pelo decisor, transformando dados concretos em escala numérica. Neste ínterim, o sistema LP23SST NG teve prevalência sobre o sistema TRS 2230 nos três primeiros critérios, tendo tido fator de igual importância no critério Guerra Eletrônica.

Os valores para comparação de cada um dos requisitos foram baseados na Escala numérica de Saaty, com valores de 1 a 9, sendo que ao final, dentre as duas alternativas consideradas (TRS 2230 e LP23SST NG), os resultados identificaram que o sistema LP23SST NG teve prevalência sobre o outro sistema, representando um índice comparativo de 71,58% nos critérios selecionados pelo decisor, respondendo assim ao problema de pesquisa.

De posse dos resultados obtidos, percebe-se que a hipótese de que a substituição do sistema radar TRS 2230 pelo sistema LP23SST NG poderia interferir negativamente na capacidade de detecção radar a baixa altura, na fronteira oeste, foi refutada.

Um dos limitadores da pesquisa foi o fato de que só foram considerados os estudos dos dois radares elencados, não se levando em consideração outros equipamentos utilizados para a cobertura radar de aeronaves civis. Em complemento, este trabalho se limitou à cobertura radar, conforme elencado por especialistas, havendo outros parâmetros disponíveis para comparação.

Como proposta para pesquisas futuras, sugere-se uma contínua revisão dos aspectos trabalhados nesse artigo em função da complexidade do controle do espaço aéreo, identificando necessidades de cobertura radar que possam atender todo o sistema de defesa aeroespacial e não somente na fronteira oeste, bem como contemplar outros equipamentos, como o TPS-B34.

O método utilizado, as referências e os resultados alcançados serviram para enaltecer o papel dos radares de vigilância para a cobertura radar a baixa altura, na fronteira oeste, contribuindo assim para a garantia da soberania e defesa das ações voltadas para a prevenção de atos ilícitos na região. Radares com grande capacidade de detecção a baixa altura, como demonstrados neste trabalho, são fundamentais para a garantia do papel assumido pelo Estado brasileiro, junto ao PEF, na atividade de controlar e fiscalizar as fronteiras contra delitos praticados na fronteira brasileira, principalmente na fronteira oeste.

REFERÊNCIAS

- ADJIE, H. T. TRS-2230D – Radar Intai Strategis Pelindung Ruang Udara Ibu Kota. **Indomiliter – Mengupas Informas**. Indonésia, 2019. Disponível em: <https://www.indomiliter.com/thomson-trs-2230d-radar-intai-strategis-pelindung-ruang-udara-ibu-kota/>. Acesso em: 07 jul. 2021.
- BARBOSA, C. G. **O Sistema Integrado de Monitoramento de Fronteiras (SISFRON) frente às vulnerabilidades brasileiras**. 2014. Dissertação (Mestrado). Escola de Comando e Estado Maior do Exército, Rio de Janeiro, 2014.
- BATISTA, G. V. **Diretrizes para Avaliação de Impacto como Instrumento de Gestão Territorial do Governo Eletrônico Municipal**. 2014. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina – Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- BRASIL. **Decreto no 7.496, de 8 de junho de 2011**. Institui o Plano Estratégico de Fronteiras. Diário Oficial da União, Brasília, 2011b. Disponível em: <http://goo.gl/f0BP7>. Acesso em: 02 jul. 2021.
- BRASIL. **Lei nº 6.634, de 2 de maio de 1979**. Dispõe sobre a Faixa de Fronteira, altera o Decreto-lei nº 1.135, de 3 de dezembro de 1970, e dá outras providências. Brasília, 1979. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6634.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%206.634%2C%20DE%20%20DE%20MAIO%20DE%201979.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20Faixa%20de,Art. Acesso em: 19 jul. 2021.
- BRITO, M. L. V.; ANTUNES, C. M. S. A Batalha da Inglaterra e a II GM: A Vitória sobre a Alemanha. **Revista Brasileira de Estudos Estratégicos**, Rio de Janeiro, V. 9, n. 18, jul.-dez. 2017. Disponível em: <http://www.rest.uff.br/index.php/rest/article/view/139/123>. Acesso em: 21 jul. 2021.
- COELHO JUNIOR, F. G. A Constitucionalidade da Lei do Abate ou do tiro de Destruição. **Revista Brasileira de Direito Aeronáutico e Espacial**, Rio de Janeiro, n. 94, set. 2012. Disponível em: <https://sbda.org.br/wp-content/uploads/2018/10/1834.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2021.
- CORBELLI, M. S. **Cobertura Radar em Baixa Altitude** – Uma proposta. 2003. Monografia (Curso de Comando e Estado-Maior da Aeronáutica) - Escola de Comando e Estado-Maior da Aeronáutica. Rio de Janeiro, 2003.
- COSTA, H. G. **Auxílio multicritério à decisão: método AHP**. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2006.
- COSTA, M. K. B.; NEVES, A. J. **Soberania e fronteira, dois conceitos de duas dimensões: diplomacia, defesa e segurança na fronteira entre Brasil e Paraguai**. Departamento de Relações Internacionais da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

FITZSIMONDS, J. R.; VAN TOL, J. M. **Revolutions in Military Affairs**. Joint Force Quaterly. National Defense University, Washington, 1994.

FONTES, D. Tecnologia a serviço da Defesa Aérea. **Revista Aeroespaco**. Departamento do Controle do Espaço Aéreo. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: https://issuu.com/aeroespaco/docs/aero_75_digital. Acesso em: 03 jul. 2021.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GOOGLE EARTH. Guia do usuário. Disponível em: <http://earth.google.com/intl/ptBR/userguide/v4/ug_toc.html>. Acesso em: 30 jun. 2021.

GOMES, A. V. **A Integração de Sistemas de Detecção do SISDABRA à MB, em proveito da Defesa de Plataformas de Exploração e Exploração de Petróleo**. 2011. Monografia (Curso de Política e Estratégia Marítimas). Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2011.

KOTLER, P; KELLER, K. L. **Administração de marketing**. 12ª ed. Rio de Janeiro: Prentice Hall, 2006.

MOTA, R. M.; OLIVEIRA, L. G. **Gestão de Ciência, Tecnologia e Inovação de Interesse da Defesa: estudo de caso do Projeto do Veículo Aéreo Não-Tripulado**. XXV Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica. Brasília, 2008. Disponível em: <http://www.anpad.org.br/admin/pdf/Simposio72.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2021.

OMNISYS. **Radar primário de vigilância do espaço aéreo em rota**. São Bernardo do Campo, SP, [ca. 2020]. Disponível em: https://www.omnisys.com.br/material-de-suporte/Radar_Primary_LP23SST-NG.pdf. Acesso em: 20 jul. 2021.

PÊGO, B.; MOURA, R. **Fronteiras do Brasil – Uma avaliação de Política Pública**. Instituto de Pesquisa e Econômica, Rio de Janeiro, 2018.

PENTEADO, T. O futuro é agora. **Revista Aeroespaco**. Departamento do Controle do Espaço Aéreo. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://issuu.com/aeroespaco/docs/aero-especial-defesa-aerea/61>. Acesso em: 03 jul 2021.

ROCHE, H.; VEJO, C. **Analisis multicriterio en la toma de decisiones. Métodos Cuantitativos aplicados a la administración. Analisis multicritério – AHP**. 2004. Material apoyo AHP, 11 f.

SAATY, T. L. **Decision Making for Leaders: the analytic hierarchy process for decisions in a complex world**. Pittsburgh, RWS Publications, 1990.

SAATY, T. L. **Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors – The Analytic Hierarchy/Network Process**. Royal Spanish Academy of Sciences, Madrid, 2008. Disponível em: <http://www.rac.es/ficheros/doc/00576.PDF>. Acesso em 21 jul. 2021.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. McGraw-Hill, Makron, 1991.

SALOMON, V. A. P. Auxílio à Decisão para a Adoção de Políticas de Compras. **Revista Produto & Produção**. Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 01-08, 2002. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ProdutoProducao/article/view/1442/387>. Acesso em: 25 jul. 2021.

SANTANA, S. Qual a capacidade de controle dos radares da Força Aérea Brasileira? **Saúde do Meio**. Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://saudedomeio.com.br/qual-a-capacidade-de-controle-dos-radares-da-forca-aerea-brasileira/>. Acesso em: 07 jul. 2021.

SANT'ANNA, R. O.; ESTEVES, F. A.; NETTO, I. B. A.; PEREIRA, J.A.D.R. Vigilância Aérea. Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro – Funcionalidades. **Revista Aeroespço**. Departamento do Controle do Espaço Aéreo. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://issuu.com/aeroespaco/docs/guia-funcionalidades-siceab/83>. Acesso em: 03 jul. 2021.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

SUPERDECISIONS. Disponível em: < <http://superdecisions.com> >. Acesso em: 03 jul. 2021.

VARGAS, A. Ataque cirúrgico à usina nuclear de Saddam. **Aero Magazine**, 2013. Disponível em: https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/ataque-cirurgico-a-usina-nuclear-de-saddam_854.html. Acesso em: 28 abr. 2021.

WOLFF, C. **Noções Básicas de Radar**. Radartutorial.eu. Berlin, 2020. Disponível em: <https://www.radartutorial.eu/01.basics/rb21.pt.html>. Acesso em: 11 jul. 2021.

ZELENY, M. **Multiple Criteria Decision Making**. McGraw-Hill, 1982.

APÊNDICE A – Termo TCLE**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Declaro, por meio deste termo, que concordei em participar da pesquisa intitulada Radares Tridimensionais na Região de Fronteira: uma análise operacional para o poder aeroespacial desenvolvida por Fabiano José de Oliveira. Fui informado (a), ainda, de que a pesquisa é orientada por MÁRIO LUIS RIBEIRO SANTOS, a quem poderei contatar / consultar a qualquer momento que julgar necessário por meio do telefone nº (21) 979532724 ou e-mailmarioribeiromlrs@fab.mil.br. Afirmando que aceitei participar por minha própria vontade, sem receber qualquer incentivo financeiro ou ter qualquer ônus e com a finalidade exclusiva de colaborar para o sucesso da pesquisa. Fui informado (a) dos objetivos estritamente acadêmicos do estudo, que, em linhas gerais é colaborar para a gestão do conhecimento no âmbito da Força Aérea Brasileira. Fui também esclarecido (a) de que os usos das informações por mim oferecidas estão submetidos às normas éticas destinadas à pesquisa, conforme orientações da UNIFA / ECEMAR. Minha colaboração se fará de forma anônima, por meio de questionário. O acesso e a análise dos dados coletados se farão apenas pelo pesquisador e seu orientador. Fui ainda informado (a) de que posso me retirar dessa pesquisa a qualquer momento, sem prejuízo para meu acompanhamento ou sofrer quaisquer sanções ou constrangimentos.

Sim, eu concordo com os termos descritos acima.

Não, eu não concordo.

Obs: o termo foi aceito pelos participantes na plataforma *Google Forms* antes do preenchimento do questionário, sendo habilitado para respostas somente após essa etapa.

APÊNDICE B – Questionário

Para concluir a pesquisa será necessário listar alguns fatores que possam afetar a cobertura a baixa altura e nas regiões montanhosas da fronteira oeste. Dessa forma, solicito responder as perguntas abaixo elencando, em sua opinião, qual o grau de importância dos fatores operacionais abaixo, relacionados aos sistemas radares elencados para este tipo de missão.

- 1) Com base na sua percepção, a cobertura radar a baixa altura é fator preponderante para identificar voos ilícitos transnacionais adentrando o território brasileiro?
- 2) Você considera as medidas de Guerra Eletrônica dos Sistemas radares importantes para a detecção de alvos a baixa altura e em regiões montanhosas?
- 3) Você considera a cobertura topográfica (terreno montanhoso ou não) importante para a detecção de alvos ilícitos na região transfronteiriça?
- 4) Você considera os fatores técnicos, como disponibilidade de equipamento e custos de manutenção importantes para a detecção de alvos ilícitos na região transfronteiriça?
- 5) Cite outra(s) característica(s) que seja(m) importante(s) para que um radar realize a cobertura radar a baixa altura na região transfronteiriça.

APÊNDICE C – Resultados obtidos por levantamento

Discordo Totalmente	Discordo Parcialmente	Indiferente	Concordo Parcialmente	Concordo Totalmente	Média das notas	Porcentagem
Com base na sua percepção, a cobertura radar a baixa altura é fator preponderante para identificar voos ilícitos transnacionais adentrando o território brasileiro?						
0 %	0 %	0 %	6 %	94 %	4,94	26,61%
0	0	0	3	47		
Você considera as medidas de Guerra Eletrônica dos Sistemas radares importantes para a detecção de alvos a baixa altura e em regiões montanhosas?						
4 %	2 %	18 %	30 %	46 %	4,12	22,20%
2	1	9	15	23		
Você considera a cobertura topográfica (terreno montanhoso ou não) importante para a detecção de alvos ilícitos na região transfronteiriça?						
0 %	0 %	2 %	20 %	78 %	4,76	25,65%
0	0	1	10	39		
Você considera os fatores técnicos, como disponibilidade de equipamento e custos de manutenção importantes para a detecção de alvos ilícitos na região transfronteiriça?						
0 %	0 %	2 %	22 %	76 %	4,74	25,54%
0	0	1	11	38		

APÊNDICE D – Matrizes secundárias da análise AHP

Quadro 3 – Matriz de relevância dos radares em relação à detecção radar.

Detecção radar	TRS 2230	Prioridade
LP23SST NG	←3	26,61 %
Consistência	0,13%	

Fonte: O autor.

Nota: Valores de consistência menores que 10% são considerados adequados.

Quadro 4 – Matriz de relevância dos radares em relação à topografia.

Topografia	TRS 2230	Prioridade
LP23SST NG	←3	25,65%
Consistência	0,13%	

Fonte: O autor.

Quadro 5 – Matriz de relevância dos radares em relação a fatores técnicos.

Fatores Técnicos	TRS 2230	Prioridade
LP23SST NG	←5	25, 54%
Consistência	0,13%	

Fonte: O autor.

Quadro 6 – Matriz de relevância dos radares em relação à Guerra Eletrônica.

Guerra Eletrônica	TRS 2230	Prioridade
LP23SST NG	1	22,20%
Consistência	0,11%	

Fonte: O autor.