

Universidade Federal Fluminense

CLEIDINEI AUGUSTO DA SILVA

**Localização de Base Logística de Brigada:
Abordagem Multicritério de Apoio à Decisão
utilizando TODIM-FSE**

Volta Redonda-RJ

2014

S586 Silva, Cleidinei Augusto da.

Localização de base logística de brigada: abordagem multicritério de apoio à decisão utilizando TODIM-FSE. / Cleidinei Augusto da Silva. – Volta Redonda, 2014.

112 f.

Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Fluminense.

Orientador: Luís Alberto Duncan Rangel.

Coorientador: Tiago Araújo Neves

1. Apoio multicritério à decisão. 2. Pesquisa operacional. 3. Logística militar. 4. Base logística de brigada. 5. TODIM-FSE.

I. Rangel, Luís Alberto Duncan. II. Neves, Tiago Araújo.

III. Título.

CDD 658.403

CLEIDINEI AUGUSTO DA SILVA

**Localização de Base Logística de Brigada:
Abordagem Multicritério de Apoio à Decisão
utilizando TODIM-FSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia. Área de Concentração: Pesquisa Operacional

Orientador:

Prof. Dr. Luís Alberto Duncan Rangel

Coorientador:

Prof. Dr. Tiago Araújo Neves

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

Volta Redonda-RJ

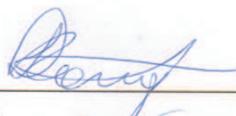
2014

Localização de Base Logística de Brigada: Abordagem Multicritério de Apoio à Decisão utilizando TODIM-FSE

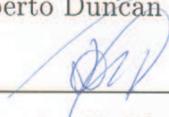
Cleidinei Augusto da Silva

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia. Área de Concentração: Modelagem Computacional.

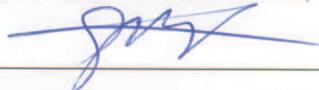
Aprovada por:



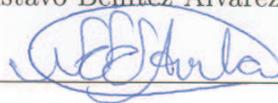
Prof. Luís Alberto Duncan Rangel, D.Sc. / MCCT-UFF



Prof. Tiago Araújo Neves, D.Sc. / MCCT-UFF



Prof. Gustavo Benitez Alvarez, D.Sc. / MCCT-UFF



Prof. Nadja Valéria Vasconcellos de Avila, D.Sc. / UFF



Prof. Henrique Martins Rocha, D.Sc. / AEDB



Prof. Adão de Melo Neto, D.Sc. / AMAN-AEDB

Dedicatória. a minha querida família, que sempre me apoia.

Agradecimentos

A Inteligência Suprema, DEUS, causa primária de todas as coisas.

A minha família, Regina Cecim, esposa, e minhas filhas, Danielli e Letícia, pelo suporte e compreensão devido a minha ausência.

Agradeço a meus pais, Antônio Silva e Ondina Silva (in memoriam), pelos pensamentos positivos e por sempre desejarem que seus filhos sempre estudassem.

Aos meus orientadores que muito contribuíram efetivamente para a concretização desta pesquisa.

Ao professor Luis Alberto Duncan Rangel, por sua interminável prestatividade e paciência com os meus questionamentos mais elementares possíveis. Sou muito grato, e privilegiado, por ter me concedido a oportunidade de ser seu orientado.

Ao professor Tiago Araújo Neves, pelas pertinentes orientações e observações auspiciosas da ciência da computação particularmente, no que se refere ao desenvolvimento do código em MATLAB e em operações do LaTeX.

Aos ilustres professores do programa, em destaque, Diomar Cesar Lobão, Gustavo Benitez Alvarez, André Gusso, particularmente, por terem, em 2012, divulgado na AMAN a existência do curso de pós-graduação MCCT.

Aos professores e professoras que aceitaram participar da minha banca de qualificação e de defesa do mestrado, pelas observações construtivas e pertinentes.

Ao Maj QEM Aderson Campos Passos, engenheiro militar e professor do IME, pelos incentivos e sugestões sobre pesquisa operacional.

A todos meus amigo(a)s do Mestrado MCCT, pelas horas de estudo e distração nos intervalos. Aos amigos Leonardo Diniz e Elienai Alves de Souza, pelo suporte no apoio a montagem e teste dos códigos em MATLAB.

Ao meu amigo Ten Cel ALMEIDA, professor da Cadeira de Português da AMAN,

pela prestimosa revisão do texto desta dissertação.

Ao Curso de Intendência da Academia Militar das Agulhas Negras e da Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais, à Escola de Comando e Estado Maior do Exército, bem como a Divisão de Doutrina e Pesquisa do Centro de Doutrina do Exército, pela colaboração na cessão de conteúdo doutrinário e na avaliação de resultados da pesquisa.

Finalmente, agradeço a Instituição UFF e ao Exército Brasileiro, através do Comando da AMAN pelo apoio, sem o qual a realização deste trabalho não teria sido possível.

Resumo

A designação criteriosa de uma Base Logística de Brigada (BLB) é uma importante atividade na logística militar e visa obter um melhor nível de apoio ao combate e economia de recursos. A localização da área, desta Base, não é uma ação trivial. Nela se envolve diversos fatores e normalmente é fundamentada em informações ligadas a manobra de uma operação, o que é questionável por não contemplar uma análise mais global. O processo de decisão a respeito desta área é consideravelmente complexo, não só por causa do número de áreas candidatas possíveis, mas também devido a critérios conflitantes encontrados durante esta seleção. Esta pesquisa propõe um modelo de classificação multicritério das Bases, que busca esclarecer os dados, visando apoiar o tomador de decisão na escolha mais apropriada e seguindo parâmetros doutrinários do Exército Brasileiro. O modelo proposto utiliza o método de Apoio à Decisão Multicritério TODIM-FSE e foi aplicado em um caso clássico, tornando o processo de decisão mais claro e racional face às múltiplas necessidades.

Abstract

Assigning a Brigade's Logistical Basis (BLB) is a quite important activity of military logistics. It provides the economy of resources and a higher level of support to combat. Locating the area of a BLB is not a trivial action as it implies considering various factors simultaneously. Due to this, such location is normally based on information about the maneuver of a particular operation. This approach has indeed been questioned since it does not usually focus on a more global analysis. The decision process involved is quite frequently considered complex due to the large number of alternatives and to the conflicting criteria identified for the selection. This paper proposes a model for multicriteria classification of BLB potential alternatives. Such model is founded on the doctrinaire parameters of the Brazilian Army and seeks an ideal basis. It makes use of the TODIM-FSE multicriteria classificatory method. The proposed model has been successfully applied to a classical case, leading to a more rational decision by taking into account the multiple needs that are present in the problem.

Palavras-chave

1. Apoio Multicritério à Decisão
2. Pesquisa Operacional
3. Logística Militar
4. Base Logística de Brigada
5. TODIM-FSE

Glossário

ADEQUABILIDADE	: Característica do planejamento logístico que representa a possibilidade de resolver o problema considerado em todos os seus aspectos, isto é, atender às condições de tempo e espaço, quanto à ação, e de quantidade e qualidade, quanto aos meios
AHP	: Analytic Hierarchy Process
ANP	: Analytic Network Process
A Op	: área de operações
AT	: áreas de trens das unidades de apoio ao combate
ATC	: áreas de trens de combate
ATE	: áreas de trens de estacionamento das unidades de combate
Bda	: Brigada
BLB	: Base Logística de Brigada
B Log	: Batalhão Logístico
BLT	: Base Logística Terrestre
COMBATE NÃO LINEAR	: Combate em toda a extensão da área de operações e não apenas ao longo da linha de contato
ESPAÇO DE BATALHA	: Dimensão física e virtual onde ocorrem e repercutem os combates, abrangendo as expressões política, econômica, militar, científico-tecnológica e psicossocial do poder, que interagem entre si e entre os beligerantes
DAMEPLAN	: dados médios de planejamento
DE	: Divisão de Exército
DMA	: Distância máxima de apoio
ELECTRE	: Elimination et Choix Traduisant la Réalité
EM	: Estado Maior
EPS	: Estrada Principal de Suprimento

Glossário

FTC	:	Força Terrestre Componente
LAADA	:	Limite Anterior da Área de Defesa Avançada
LC	:	Linha de Contato
MACBETH	:	Measuring Attractiveness by a Categorical based Evaluation Technique
<i>MATLAB</i> [®]	:	Matrix Laboratory
MAUT	:	Multiple Attribute Utility Theory (MAUT)
MCDA	:	Multicriteria Decision Aid
MCDM	:	Multicriteria Decision Making
OM	:	Organização Militar
PROMETHEE	:	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations
SMARTER	:	Simple Multi-Attribute Rating Technique using Exploiting Rankings
SMARTS	:	Simple Multi-Attribute Rating Technique using Swings
TIC	:	Tecnologias da Informação e Comunicação
TODIM	:	Tomada de Decisão Interativa e Multicritério
TODIM-FSE	:	Tomada de Decisão Interativa Multicritério – Fuzzy Synthetic Evaluation
TN	:	Território Nacional
TO	:	Teatro de Operações
TOPSIS	:	Technique Order Preference by Similarity to Ideal Solution
UTADIS	:	Utilités Additives Discriminantes
ZA	:	Zona Administrativa
Z Aç	:	Zona de ação
ZC	:	Zona de Combate
ZI	:	Zona do Interior - Parcela do Território Nacional não incluída no Teatro de Operações ou Área de Operações

Sumário

Lista de Figuras	xii
Lista de Tabelas	xiv
1 Introdução	16
1.1 Considerações Iniciais sobre Base Logística	18
1.2 Objetivos	20
1.3 Delimitação do Escopo da Dissertação	20
1.4 Procedimento Metodológico	21
1.5 Estrutura da Dissertação	22
2 Logística: Aspectos Gerais e Características da Logística Militar Terrestre Brasileira	24
2.1 O Papel da Logística	24
2.2 Apoio Logístico no EB	27
3 Referencial Teórico	38
3.1 Problema de Localização de Instalações	38
3.2 Análise de Decisão	40
3.3 Análise Multicritério	44
3.4 Métodos Multicritérios	45
3.5 Processo Decisório	53
4 Tomada de Decisão Interativa Multicritério - Fuzzy Synthetic Evaluation (TODIM-	

FSE)	56
4.1 Motivos para Aplicação do TODIM-FSE no Caso de BLB	58
4.2 Método TODIM-FSE e sua Base Teórica	58
4.2.1 Tomada de Decisão Interativa e Multicritério (TODIM)	59
4.2.2 Conjuntos <i>fuzzy</i> e Números <i>fuzzy</i>	60
4.2.3 <i>Fuzzy Synthetic Evaluation</i>	66
4.2.4 Metodologia do TODIM-FSE	69
5 Aplicação do TODIM-FSE para Classificação de BLB	75
5.1 Aplicação do Método TODIM-FSE em Estudo de Caso (Tema CARAZINHO)	76
5.2 Síntese dos Resultados da Aplicação TODIM-FSE para Classificação de BLB	88
5.3 Análise de Sensibilidade	89
5.4 Análise de Validação	91
6 Conclusões	92
6.1 Considerações dos Resultados	93
6.2 Publicações das Pesquisas Realizadas	94
6.3 Limitações e Trabalhos Futuros	94
Referências	96
Apêndice A	102
Apêndice B	104
Apêndice C	107

Lista de Figuras

2.1	Visão geral da estrutura logística na Força Terrestre.	28
2.2	A Logística no Espaço de Batalha.	29
2.3	Áreas de interesse logísticos.	30
2.4	Desdobramento da BLT.	31
2.5	Fatores determinantes para escolha de localização de Base Logística.	32
4.1	Função de Valor da Teoria dos Prospectos.	57
4.2	(a) Conjunto <i>fuzzy</i> normalizado (b) Conjunto <i>fuzzy</i> não normalizado.	62
4.3	Conjunto fuzzy, com suporte(F).	63
4.4	Representação de um número <i>fuzzy</i> triangular.	64
4.5	Representação de um número <i>fuzzy</i> trapezoidal.	65
4.6	Representação de um número <i>fuzzy</i> gaussiano.	65
4.7	Representação de um número <i>fuzzy</i> sigmoidal.	66
4.8	Funções de contribuições para o critério j , quantitativo, em problemas com três categorias	71
5.1	Extrato adaptado de Operação Defensiva da 12 ^a Divisão de Exército (DE), indicando os limites entre DE e entre as Brigadas Militares e apresenta a localização geral da BLB ₁ , BLB ₂ , BLB ₃ e BLB ₄ , candidatas à Base Logística de Brigada da 55 ^a Bda Inf Mtz. Fonte: o autor	77
5.2	Extrato adaptado de Operação Defensiva da 12 ^a Divisão de Exército (Fonte: Carta topográfica – Crt Carazinho/Enerstina– IBGE, 1 ^a impressão, 1979, Escala 1:50.000)	77
5.3	Função de Contribuição – MANOBRA – Apoio Cerrado (SC_{11})	80
5.4	Função de Contribuição – MANOBRA – Distância Máxima de Apoio (SC_{12})	80

5.5	Função de Contribuição – SEGURANÇA – Seg. das Instalações – Dispersão e Apoio Mútuo(SC_{33})	80
5.6	Função de Contribuição – SEGURANÇA – Seg. das Instalações – Distância de Segurança(SC_{35})	81
5.7	Função de Contribuição – SITUAÇÃO LOGÍSTICA – Localização atual das instalações de apoio logístico do escalão superior (SC_{41})	81
5.8	Gráfico em linhas com marcadores de Classificação Final de BLB.	89
5.9	Gráfico em linhas com marcadores de Classificação Final de BLB após análise de sensibilidade.	90

Lista de Tabelas

4.1	Tabela de contribuições para o critério i , qualitativo	70
4.2	Tabela de contribuições agrupadas dos critérios	71
4.3	Escala Fundamental de Saaty.	72
5.1	Tabela de Critérios/Subcritérios quantitativos e qualitativos, onde da notação SC_{ij} , i representa critério e j indica o subcritério.	79
5.2	Tabela de Contribuições para o critério Manobra – Favorecimento do esforço da ação tática – SC_{13}	82
5.3	Tabela de Contribuições para o critério Manobra – Continuidade do apoio – SC_{14}	82
5.4	Tabela de Contribuições para o critério Manobra – Interferência com a Manobra – SC_{15}	82
5.5	Tabela de Contribuições para o critério Terreno – Existência de Água – SC_{21}	82
5.6	Tabela de Contribuições para o critério Terreno – Rede rodoviária compatível – circulação interna – SC_{22}	82
5.7	Tabela de Contribuições para o critério Terreno – Existência de construções – SC_{23}	82
5.8	Tabela de Contribuições para o critério Terreno – Cobertas e abrigos – SC_{24}	83
5.9	Tabela de Contribuições para o critério Terreno – Obstáculos no interior da área – SC_{25}	83
5.10	Tabela de Contribuições para o critério Terreno – Consistência do solo – SC_{26}	83
5.11	Tabela de Contribuições para o critério Segurança – Segurança de fluxo – SC_{31}	83

5.12	Tabela de Contribuições para o critério Segurança – Segurança das Instalações – Facilidade para defesa – SC ₃₂	83
5.13	Tabela de Contribuições para o critério Segurança – Segurança das Instalações – Proximidade de tropa amiga – SC ₃₄	83
5.14	Tabela de Contribuições para o critério Segurança – Segurança das Instalações – Flancos expostos ou protegidos – SC ₃₆	84
5.15	Tabela de Contribuições para o critério Situação Logística – EPS em uso e EPS prevista para utilização – SC ₄₁	84
5.16	Matriz de Comparações paritárias pertinentes aos critérios preenchida utilizando-se a Escala Fundamental de Saaty	85
5.17	Matriz de Comparações paritárias pertinentes ao critério manobra preenchida utilizando-se a Escala fundamental de Saaty	85
5.18	Matriz de Comparações paritárias pertinentes ao critério terreno preenchida utilizando-se a Escala Fundamental de Saaty	85
5.19	Matriz de Comparações paritárias pertinentes ao critério segurança preenchida utilizando-se a Escala Fundamental de Saaty	86
5.20	Matriz de Comparações paritárias pertinentes ao critério situação logística preenchida utilizando-se a Escala Fundamental de Saaty	86
5.21	Resultado das avaliações realizadas pelos oficiais e especialistas integrantes do EM	87
5.22	Tabela de contribuições agrupadas dos critérios e subcritérios, resultado das avaliações realizadas pelos oficiais e especialistas integrantes do EM	88
5.23	Resultado final com utilização do método TODIM-FSE	89
5.24	Matriz de Comparações paritárias pertinentes aos critérios, preenchida utilizando a Escala Fundamental de Saaty	90
5.25	Resultado final, após análise de validação, com utilização do método TODIM-FSE	90
5.26	Resultado de Classificação de BLB - Tema Carazinho	91

Capítulo 1

Introdução

As operações militares pós-guerra fria apresentaram novos conceitos que requerem das forças o emprego de armas combinadas - Infantaria, Cavalaria, Artilharia, Engenharia, Comunicações e Logística - para atender a intenção do seu comandante, por intermédio da sincronização no combate não linear. Essas operações foram realizadas com combate continuado, predominantemente urbano e com forte influência da presença de população civil - Deslocados e Refugiados - no Teatro de Operações. A Logística Militar Terrestre desenvolveu nas operações desse período uma série de atividades que tiveram como objetivo proporcionar o suporte necessário para que a tropa pudesse cumprir todas as suas missões operacionais, compreendendo, desta forma, um importante conjunto de atividades logísticas executadas em apoio às unidades de combate [79].

Com advento da Estratégia Nacional da Defesa, em vigor a partir de 2008, a questão da modernização e da integração logística entre Marinha, o Exército e a Força Aérea avulta de importância, aparecendo como uma diretriz estratégica a ser cumprida, tanto em operações conjuntas quanto na questão do aumento da capacidade de mobilização militar. Assim, os conceitos de Logística Empresarial e de Gestão da Cadeia de Suprimento, surgem como aspecto de estudo científico importante neste processo de modernização da logística militar [51] .

Logo, o fluxo logístico militar terrestre tornou-se a dinâmica do apoio logístico em circulação, desde as fontes de origens até o emprego ao longo dos seus processos, dentro das funções logísticas: Suprimento, Manutenção, Transporte, Recursos Humanos, Saúde, Engenharia e Salvamento. Atualmente, esta estrutura terrestre está envolvida nas atividades da Logística de Defesa levadas a cabo pelo país, a qual, além do componente militar, faz amplo uso dos recursos advindos da Logística Empresarial [79].

Nesta estrutura citada observa-se também, conforme expõe [75], que o apoio logístico ao combate engloba as ações realizadas para preparar e garantir a continuidade do combate, incluindo o processo de planejamento e execução do apoio às operações. São ações presentes em todas as fases do combate, havendo estreita ligação e sincronização entre o planejamento da manobra operacional e a manobra logística. Seus elementos devem participar desse planejamento e ter perfeito conhecimento e entendimento das operações para melhor apoiar sua execução. A logística mantém as forças com a capacidade de responder às condições dinâmicas do combate de qualquer intensidade. Operações continuadas, ininterruptas ou circunstâncias imprevisíveis não podem ser obstáculos para a logística operacional. No seu conjunto, os elementos logísticos devem possuir flexibilidade, criatividade e versatilidade para cumprir sua missão. O apoio logístico ao combate crescerá em complexidade e importância na mesma proporção em que aumentem o vulto e a intensidade das operações.

Os autores [79] esclarecem que a complexidade dos conflitos, aliada a evolução tecnológica dos equipamentos militares, exigem grandes esforços dos planejadores militares na busca de um sistema logístico que permita à Força Terrestre cumprir em boas condições sua atividade operacional, e que este seja coerente com os recursos orçamentários disponíveis. Os autores também afirmam que a Força Terrestre Brasileira necessita aprimorar seus mecanismos de gestão, não apenas por meio dos processos tradicionais, mas principalmente pelo apoio de programas informatizados que facilitem os próprios processos logísticos, respaldando a mensuração, o acompanhamento e a coordenação do Fluxo Logístico.

As operações militares inserem-se cada vez mais em cenários de risco e incerteza. Isso implica ao gestor, no caso o Comando Militar, tomar decisões que minimizem as potenciais variáveis complexas existentes em operações de guerra e não guerra. É fundamental que o Comandante tome decisões baseadas em enfoque analítico e aplicando métodos adequados e confiáveis.

Portanto, a tomada de decisão em ambientes militares está cada vez mais complexa e é influenciada por diversos fatores: recursos limitados, variáveis tangíveis e intangíveis no processo decisório e a velocidade de interação entre eles. As escolhas podem ser aperfeiçoadas na medida em que se adota o conceito de "Logística na Medida Certa", conforme esclarece o autor [20], dizendo que ela representa um conjunto de medidas, características, princípios, processos, pessoal, material e estruturas existentes que possibilitam ao planejador logístico, nos diversos níveis, "desenhar, cortar e costurar" a logística, proporcionando

um apoio justo e adequado a uma situação apresentada, seja em tempo de paz, seja em operações de guerra.

Assim, busca-se adaptar os recursos e conhecimentos existentes ao propósito de atingir os objetivos apresentados pelo Exército Brasileiro, tanto na administração quanto nas operações permitindo uma maior possibilidade de sucesso, com o menor risco possível e com o mínimo de desperdício. Neste sentido, depreende-se a necessidade de designar com qualidade os diversos locais onde ocorrerão as atividades de suprimentos e logística nas operações militares.

1.1 Considerações Iniciais sobre Base Logística

O estabelecimento do novo manual de campanha que trata de logística contribui para atender em melhores condições as necessidades impostas pelo cenário da atualidade. No documento [16] constam os fundamentos doutrinários do Apoio Logístico (Ap Log) nos escalões Divisão de Exército (DE) e Brigada (Bda). Abrange também o planejamento, a integração, a execução e o controle das atividades e tarefas relativas à logística, no que diz respeito à DE e à Bda.

Atualmente, o cenário da guerra moderna, com a oferta de tecnologias múltiplas e as forças de combate com alta flexibilidade de mobilização, um dos maiores desafios é escolher corretamente o local e as áreas de apoio logístico conforme prevê a Doutrina Militar Terrestre Brasileira.

As bases logísticas são locais onde se concentram instalações fundamentais de auxílio às operações militares, tais como: assistência médica, centros de distribuição de todos os tipos de suprimentos como combustível, lubrificantes, bem como armas e munições, e, manutenção de veículos e equipamentos em geral.

A importância do apoio logístico aumenta com o número de soldados envolvidos em um combate e o tempo que passam em um campo de batalha. Portanto, conforme previsto na doutrina terrestre, [16, 13], denomina-se área de apoio logístico (conhecida atualmente por Base logística de Brigada - BLB) a região destinada ao desdobramento da maioria dos elementos integrantes do batalhão logístico e/ou dos elementos sob seu controle. Sua localização normalmente situa-se na área de retaguarda do escalão considerado, podendo-se admitir a exceção nos seguintes casos: em operações defensivas; em operações onde a manobra requer a centralização das ações pelo escalão superior e um elevado grau de coordenação e controle nas áreas de retaguarda; em operações de movimento; em

operações com características especiais; e, quando o terreno recomendar a redução da área de retaguarda, pela existência de obstáculos naturais.

Ainda prevê a doutrina que a localização da área de apoio logístico de divisão de exército ou de brigada devem ser considerados os fatores que se seguem:

- a) a manobra tática do escalão considerado;
- b) as características das prováveis áreas de desdobramento (terreno);
- c) as condições de segurança para a prestação do apoio;
- d) a situação logística existente; e
- e) outros fatores.

Assim, o ideal é que estas áreas sejam o mais próximo possível da linha de frente para garantir um melhor apoio aproximado às forças amigas. Essas áreas devem também ser localizadas dentro dos limites de segurança, de modo que possam realizar as suas funções essenciais livres da influência do inimigo.

A localização das áreas de apoio depende da decisão final do Comandante do Teatro de Operações e seu Estado-Maior. Esta decisão baseia-se em sugestões propostas por integrantes do *Staff*.

O processo de tomada de decisão, envolvendo essas áreas classificadas, é complexo, não só por causa do número de possíveis áreas candidatas, mas, principalmente, por causa dos critérios conflitantes, das diferentes escalas de valores, e às vezes dos critérios de natureza subjetiva.

Portanto, é pertinente que a pesquisa operacional possa favorecer os planejamentos, particularmente através dos métodos de Apoio Multicritério à Decisão (AMD), buscando, na presença de múltiplos critérios, selecionar, ordenar, classificar ou descrever alternativas, dependendo do problema abordado.

O autor [34] ressalta que o AMD não pretende uma solução ótima para o problema, como acontece na pesquisa operacional tradicional, mas sim a solução de compromisso, na qual deve preferencialmente prevalecer o consenso entre as partes envolvidas. É neste aspecto que se torna importante a utilização de uma análise com vários critérios, pois o responsável pela decisão, o chefe militar, obterá um apoio consistente para o processo decisório com a recomendação de ações que estejam em sintonia com as preferências expressas pelos múltiplos agentes de decisão, ou seja, os auxiliares e assessores militares.

1.2 Objetivos

Objetivo Geral

Esta dissertação busca analisar o emprego da metodologia multicritério para apoiar à decisão na escolha de uma Base Logística de Brigada (BLB), dentre diversas áreas que se apresentam como candidatas apropriadas para sua instalação. Desta forma, será utilizada uma abordagem de apoio à decisão objetivando classificar a base logística com a finalidade de favorecer a adoção e escolha de áreas mais adequadas por ocasião de operações militares.

Objetivos Específicos

Esta pesquisa busca de modo específico a:

- a) descrever a metodologia atual adotada no âmbito da doutrina militar terrestre brasileira, com vistas a dar validade a possível contextualização do problema;
- b) realizar uma revisão bibliográfica das principais metodologias de apoio à tomada de decisão;
- c) estudar os critérios que deverão ser considerados na análise do problema a fim de desenvolver uma modelagem que possa ser melhor compreendida;
- d) utilizar uma metodologia multicritério ao problema para classificar BLB que esteja em consonância com as práticas de auxílio às tomadas de decisões existentes no Exército Brasileiro (EB);
- e) comparar a solução do modelo gerado com a solução de oficiais especialistas do EB;
- f) apresentar algoritmos computacionais que implementem o modelo proposto, que podem ser convertidos em ações práticas para o EB, mediante propostas e sugestões aplicáveis a casos genéricos em operações militares em tempo de paz e/ou de guerra.

1.3 Delimitação do Escopo da Dissertação

Este trabalho visa, inicialmente, que o problema desta pesquisa seja modelado por uma ferramenta de análise que facilite o entendimento e a percepção dos critérios envolvidos na decisão estratégica de localização de BLB.

Numa situação real, a análise de emprego "*Multicriteria Decision aid*" (MCDA) requer a manipulação de muitas variáveis, sendo que a utilização de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) é essencial para dinamizar as ações com vista a obter uma sensibilidade holística de problemas.

A localização de BLB pode ser caracterizada como um problema de micro localização. A escolha encontra-se dependente de decisão sobre uma subárea dentro da Zona de Combate.

Nesta dissertação, não se busca implementar ou obter a solução ótima para o problema apresentado. Vale dizer, que a intenção é esclarecer a problemática existente, utilizando um método de apoio à decisão multicritério: o TODIM-FSE [59] classifica as candidatas a BLB, buscando-se atender aos aspectos de eficiência, eficácia e efetividade, de acordo com a situação tática e análises dos especialistas.

Os métodos de AMD podem ser classificados dentro de duas grandes escolas: a Americana e a Francesa [5]. O método TODIM-FSE [59] contém elementos técnicos das duas escolas, sendo denominado método híbrido. Esta dissertação objetiva aplicar este método para classificar as áreas candidatas que possuam o desempenho pertinente em termos do preconizado pela doutrina militar terrestre brasileira.

1.4 Procedimento Metodológico

A Análise de Decisão é o desenvolvimento e a utilização de técnicas e metodologias, de base teórica sólida, para facilitar a tomada de decisão nas organizações, em variados contextos.

Os fundamentos teóricos da Análise de Decisão, de acordo com [2], remontam: à Teoria das probabilidades de Pascal e De Fermat (1654), à Teoria da Utilidade de Bernoulli (1738), com fundamentos axiomáticos de Von Neumann e Morgenstern (1947) e Savage (1951) e, por último, à utilidade esperada que originou a "*Multiple Attribute Utility Theory*" (MAUT).

Para o autor [62], citando [11, 2], se é verdade que a procura da objetividade é uma preocupação importante, é crucial não esquecer que a tomada de decisão é, antes de tudo, uma atividade humana, sustentada na noção de valor e que, portanto, a subjetividade está onipresente e é o motor da decisão. Num problema de avaliação de opções dominado pela complexidade e incerteza existem modelos e técnicas de análise de decisão em que

o decisor pode apoiar-se. A abordagem utilizada como técnica de auxílio à decisão foi a abordagem sócio técnica. Este tipo de abordagem utiliza métodos de análise de decisão (componente técnica) em conferências de decisão (componente social) para construir um modelo adequado às preferências do grupo.

Podem-se enumerar como principais vantagens desta abordagem: a Combinação entre processo social e técnico e a experiência comprovada de alto valor em grupos menores, abertos a mudança e com decisões participativas. Desta forma, tornam-se mais do que uma metodologia ou parte de metodologias, tendo em vista equacionamento dos diferentes problemas. Assim sendo, utilizam-se, entre os diversos atores, intervenientes decisores e o problema, de três etapas: (1) Análise de Decisão Multicritério geralmente auxiliada por *software*, no caso em estudo *MATLAB*[®] de acordo com a referência [41], (2) Consulta de Especialistas e (3) Verificação de Decisão.

Portanto, os dados usados na presente pesquisa são oriundos de informações quantitativas e qualitativas coletadas de fonte militar e foram manipulados, artificialmente, por um modelo matemático.

Conforme esclarece o autor [26], quanto ao tipo de análise, os dados ou informações de uma pesquisa podem produzir resultados quantitativos, cuja confiabilidade é expressa em termos numéricos. Podem, também, gerar resultados qualitativos, os quais são, com frequência, expressos verbalmente, sobretudo quando se faz necessário o entendimento de relacionamentos ou situações complexas existentes.

Nesta dissertação, os resultados obtidos são predominantemente qualitativos. Conforme destaca [54], a experiência do pesquisador e analista de decisão é o fator determinante para a interpretação das conclusões do trabalho, principalmente, pelo envolvimento das subjetividades nas respostas.

1.5 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos, além da referência bibliográfica. Este capítulo apresenta a introdução, na qual a motivação e a natureza da pesquisa são apresentadas. Ademais, faz-se uma breve descrição do problema estudado e sua contextualização, apresentando o objetivo, a delimitação do escopo da dissertação e a estrutura do trabalho.

No Segundo Capítulo, objetiva-se apresentar conceitos e aspectos ligados à logística,

em especial as de aspectos militares. Mostra-se, também, uma abordagem da logística militar no EB, com enfoque para os fatores de decisão para locação de uma BLB.

No Terceiro Capítulo, formula-se um referencial teórico sobre o problema de classificação de BLB e sobre os métodos de auxílio à tomada de Decisão por Múltiplos Critérios.

No Quarto Capítulo, é apresentada a descrição completa do método TODIM-FSE. Nele, ainda, será esclarecido a base teórica do método utilizado e justificado o porquê da escolha do mesmo na abordagem do problema de classificação de BLB.

No Quinto Capítulo, aplica-se o método escolhido em um estudo de caso (Tema Carazinho) da Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais (EsAO) que trata de um exercício militar utilizando carta topográfica sobre operação defensiva, discutindo-se também sobre a localização de BLB. Nele são descritos, capítulo, os parâmetros e as análises resultantes da aplicação do TODIM-FSE, bem como a discussão das conclusões obtidas.

No Sexto Capítulo, as conclusões da presente dissertação são relatadas e registradas, ainda, as recomendações para aplicação dos resultados em termos práticos para o EB e em estudos futuros. Em seguida tem-se as referências bibliográficas e os apêndices A, B e C que apresentam os formulários de coletas de informações e o código computacional desenvolvido.

Capítulo 2

Logística: Aspectos Gerais e Características da Logística Militar Terrestre Brasileira

O objetivo deste capítulo é apresentar aspectos gerais logísticos da Força Terrestre Brasileira, e o contexto em que se insere o problema estudado nesta dissertação. Para isso, serão apresentados os conceitos e teorias relevantes sobre o tema existentes na doutrina em vigor do Exército Brasileiro (EB).

Inicialmente, descreve-se a importância do papel da logística no EB. Logo após, descreve-se as situações gerais sobre apoio logístico preconizado no âmbito da Força e, em seguida, apresentam-se os principais conceitos relacionados à Base Logística de Brigada (BLB).

2.1 O Papel da Logística

O termo logística, de forma similar a outros intangíveis e complexos termos, como política, tática, estratégia ou economia, não possui uma definição fechada. Provavelmente, a fonte mais antiga da origem da palavra logística encontra-se na Grécia. Para [70], o termo logística derivou da palavra grega "*logistikos*", tem origem arraigada no conceito de lógica, métodos quantitativos e cálculos, representando o aspecto matemático ou científico do termo, e da palavra francesa "*logistique*" derivada do verbete francês "*loger*" que significa aquartelar soldados, ou seja, fornecer-lhes abrigo e provisões. Combinando-se lógica, cálculo e aquartelamento de soldados tem-se o que parece ter dado origem à palavra logística.

Esse termo logística foi empregado formalmente, pela primeira vez, no léxico americano, em finais do século XIX, quando o Almirante Alfred T. Mahan, estrategista naval, introduziu a palavra logística na Marinha Americana. Entretanto, somente com o advento da Segunda Guerra Mundial, o termo passou a ser extensivamente utilizado para descrever o apoio às forças militares e aos seus equipamentos [70].

Conforme citado pelo pesquisador [47] : Logística é a arte de movimentar exércitos. Ela engloba as ordens e detalhes dos avanços e acampamentos, dividir e suprir tropas; em síntese, é a execução de operações táticas e estratégicas.

Na década de sessenta, a logística praticada no mundo ocidental conseguiu um avanço significativo e abrangeu o desenvolvimento de apoio aos sistemas de armas, como o planejamento e as fases de definição dos requisitos deles. Durante esse período, a logística integrou também assuntos relativos à modelagem de problemas relacionados à confiabilidade e manutenção de sistemas, usando métodos matemáticos e pesquisa operacional. Existiam muitas deficiências e inconsistências nos sistemas logísticos das Forças Armadas Americanas e a maior parte delas ainda não havia sido solucionada, apesar dos avanços sentidos nos conceitos e práticas logísticas desde a Segunda Guerra Mundial [25].

Para o *Council of Logistics Management*, logística representa a parcela do processo da cadeia de suprimentos que, planeja, implanta e controla o fluxo eficiente e eficaz de matérias-primas, estoque em processo, produtos acabados e informações relacionadas, desde seu ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender aos requisitos dos clientes.

Para o autor [17], a logística é o ramo dos conhecimentos militares que tem por fim proporcionar às Forças Armadas os meios humanos e materiais necessários para satisfazer as exigências de guerra.

Expõe o pesquisador [18] que o termo logística é “a ciência dos transportes e dos suprimentos, na guerra. É arte de colocar um número exato de homens, no lugar certo, no tempo certo, com o equipamento adequado”. Na continuação ele afirma: “uma boa logística, isoladamente, não vence uma guerra é bem verdade, mas uma má por si só constitui a causa da perda dessa guerra”.

A logística militar é definida por [29] como a parte da administração militar que compreende, em particular, a direção e a execução do suprimento, da hospitalização, da evacuação, do transporte, da manutenção e das comunicações, em proveito das operações militares.

Assim, são inúmeras definições encontradas na literatura acadêmica e militar para o termo logística. Remetem-se invariavelmente à necessidade de prever e prover recursos materiais e/ou serviços necessários, para o cliente correto, na quantidade certa, na condição exata, no lugar, no tempo e no custo preciso (definição clássica de logística) de acordo com o autor [31].

Conforme o autor [31], verifica-se que o uso de práticas logísticas tem sido amplificado, em decorrência das lições aprendidas durante a Segunda Guerra Mundial. Após este período, muitos trabalhos científicos foram escritos em razão da evolução em áreas como a Pesquisa Operacional e a Ciência da Computação.

Na doutrina de Logística do Exército Brasileiro, descrita no manual [16], a Logística Militar é definida como o conjunto de atividades relativas à previsão e à provisão dos recursos necessários à execução das missões das Forças Armadas. Ela exerce, também, papel determinante na amplitude e duração das operações terrestres e contribui para a liberdade de ação dos comandantes táticos, aumentando a gama de opções disponíveis para o cumprimento de suas funções. A Logística engloba três Áreas Funcionais básicas: material, pessoal e saúde. Essas constituem os eixos de atuação que direcionam os planejamentos logísticos em todos os níveis de execução, assegurando que as forças operativas terrestres estejam fisicamente disponíveis e apropriadamente equipadas no momento e local oportunos. A Logística envolve, ainda, as atividades de Gestão Orçamentária e Financeira e de Apoio Jurídico, que permeiam todas as Áreas Funcionais, tendo por objetivo precípua assessorar o processo decisório nos diversos níveis de execução do apoio logístico.

A logística está presente em três níveis de condução das operações: o estratégico, operacional e tático. Sendo que nos dois primeiros estabelece as condicionantes do planejamento e da execução das operações, enquanto no nível tático adapta-se à manobra planejada para torná-la viável.

No nível tático, ela compreende a sincronização de todas as atividades necessárias para sustentar a força operativa terrestre. A sua efetividade está relacionada à capacidade de proporcionar o apoio logístico adequado às forças desdobradas no momento e local oportunos.

As capacidades básicas da logística são geração, desdobramento, sustentação e reversão dos meios necessários à Força Terrestre. Quanto ao aspecto do desdobramento, a doutrina descreve que esta ação engloba não só a movimentação de recursos até a área onde a força será empregada, mas também a recepção, o trânsito, o movimento à frente e

a integração desses itens em novos locais. Ela envolve, ainda, a seleção da infraestrutura física para a disposição das bases logísticas e o estabelecimento do suporte logístico inicial para sustentação dessa força.

É neste aspecto que se refere o objeto principal em estudo desta dissertação, ou seja, evidenciar uma forma o mais adequada possível para apoiar a decisão na escolha da área de desdobramento das principais áreas funcionais de apoio: material, pessoal e saúde.

2.2 Apoio Logístico no EB

Em janeiro de 2014, o Estado Maior do Exército editou novo manual de campanha – Logística [16] – que compila aspectos relevantes sobre o assunto para o EB na medida que se alinha com as diretrizes emanadas pelo Ministério da Defesa, que introduz e atualiza as concepções sobre a organização, a estrutura e o planejamento de apoio logístico, coerente com as capacidades básicas de apoio a geração, o desdobramento, a sustentação e a reversão de uma força até a conquista do estado final desejado.

Além desse novo manual, utilizou-se, no escopo da dissertação, os seguintes manuais [14, 13] em vigor, que tratam da área de apoio logístico, atualmente conhecida por Base de Apoio Logístico (BLB). Assim, para tornar a leitura deste trabalho menos cansativa, optou-se por evitar as apresentações de definições já consagradas na base doutrinária citada.

Entretanto, dada a nova concepção doutrinária, [16], é necessário o esclarecimento conceitual a seguir detalhado. A organização da Logística vigente (na situação de normalidade) deve aproximar-se o máximo possível daquela que apoia às operações. Assim, as organizações militares de logística são estruturadas de forma compacta e assentadas no amplo uso de tecnologias, na otimização de processos e na capacitação continuada do capital humano. Outro aspecto é que o adequado apoio logístico às operações é alcançado por meio do emprego oportuno, balanceado e sincronizado dos recursos (materiais e humanos) em função do ambiente operacional, da manobra e do valor e natureza da força a apoiar. O objetivo é evitar que se produzam carências significativas ou excesso de meios junto aos elementos apoiados.

A organização da logística em tempo de paz é competência do Comando do Exército e em operações é responsabilidade do Comando Operacional. A estrutura desta organização pode ser centralizada, agrupando os recursos logísticos sob o mesmo comando, ou descentralizada, por ser adaptada e customizada para cada tipo de operação e elemento apoiado.

Uma visão da estrutura logística da força terrestre é apresentada na Figura 2.1, mostrando as relações entre território nacional/zona de interior (TN/ZI), a zona administrativa (ZA) e a zona de combate (ZC).

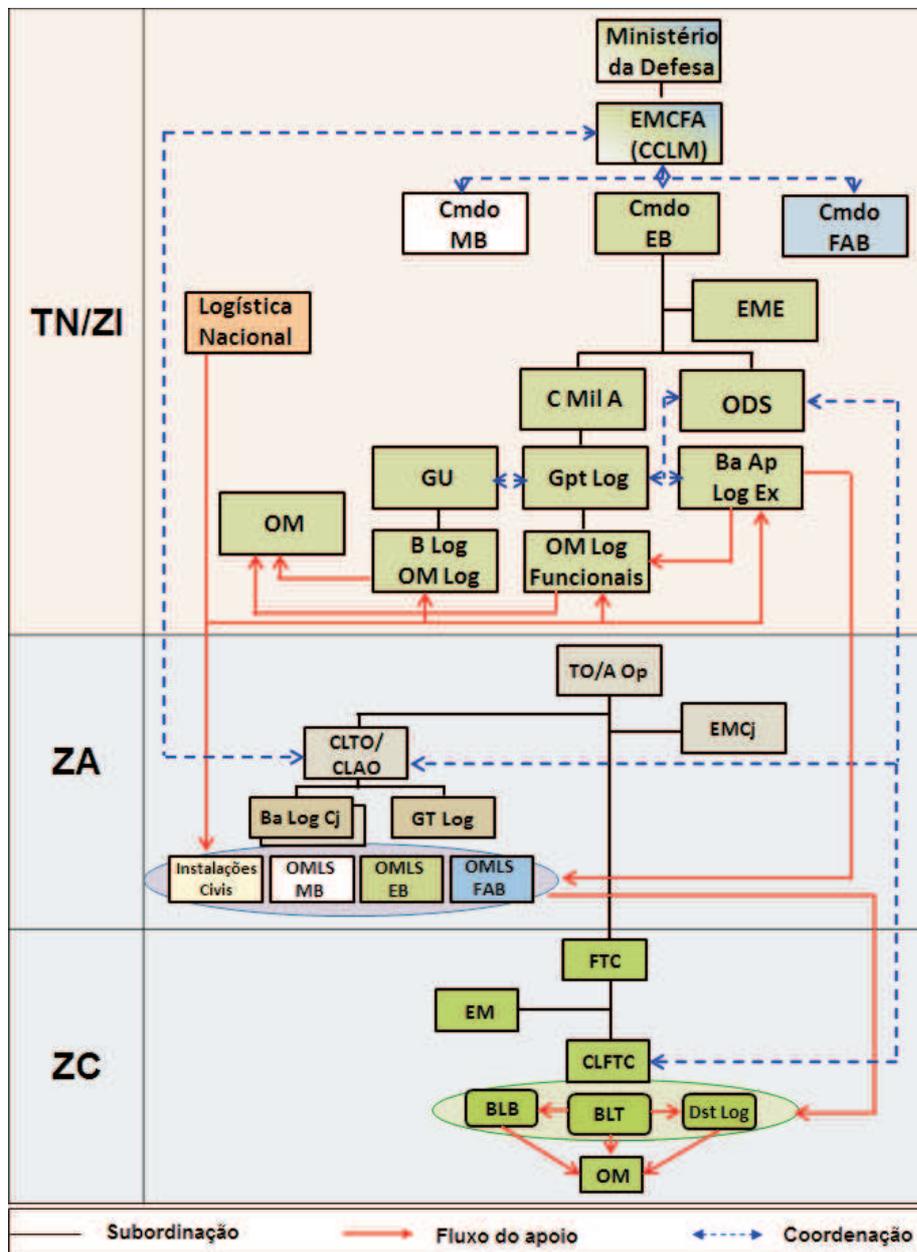


Figura 2.1: Visão geral da estrutura logística na Força Terrestre. Fonte [16].

O Espaço de Batalha, conforme Figura 2.2, apresenta a área de responsabilidade (A Rspnl), zona de ação (Z Aç) dos grupamentos, batalhões e destacamentos logísticos. Este espaço citado pode tornar inviável o fluxo logístico nos moldes clássicos, da retaguarda para a vanguarda. Assim, o planejamento das estruturas para apoio deve considerar a utilização de recursos de tecnologia da informação e de meios de comando e controle que

permitam a adoção de dispositivos logísticos não lineares eficientes, eficazes e efetivos. Portanto, a abordagem multicritério de apoio a decisão nestes casos pode favorecer a escolha mais adequada diante das diversas variáveis de um problema relacionado à logística.

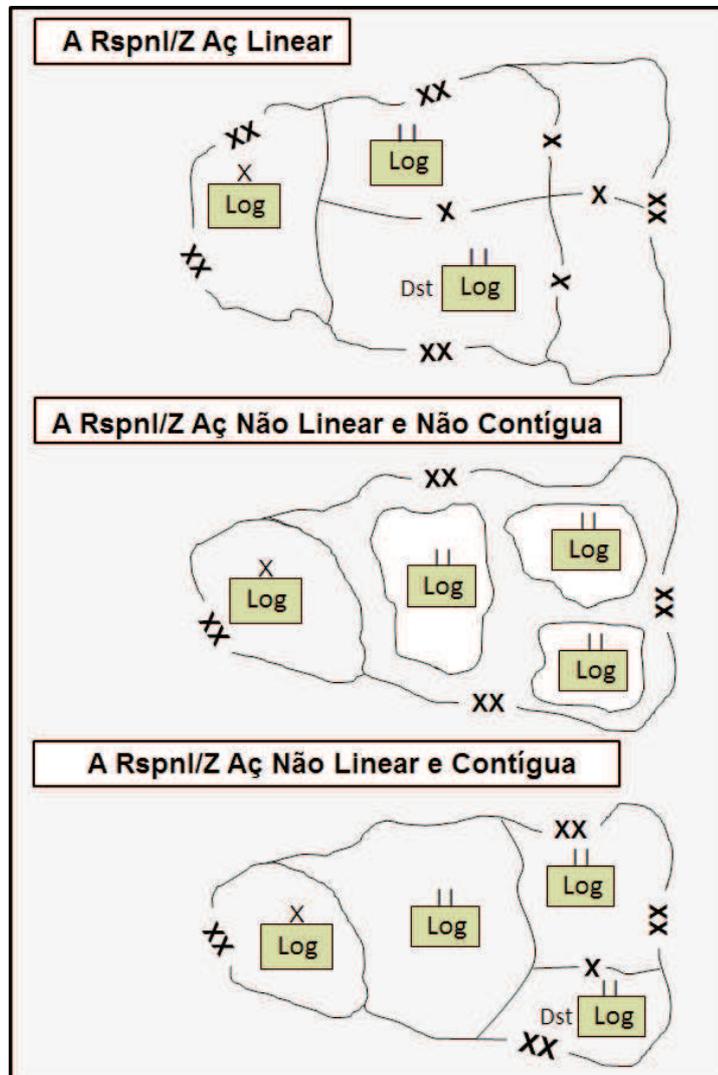


Figura 2.2: A Logística no Espaço de Batalha.
Fonte [16].

A estrutura do apoio logístico às operações, de forma resumida, é representada na Figura 2.3, onde o apoio logístico na ZC deve estar integrado às logísticas operacional e estratégica - executadas, respectivamente, na ZA e TN/ZI - contando com uma combinação de recursos próprios desdobrados ou preposicionados no teatro de operações/área de operações (TO/A Op). Pode contar, ainda, com eventual apoio de meios de outras Forças Singulares (FS), de agências civis e de forças aliadas ou nação anfitriã no contexto de operações conjuntas ou multinacionais.

A estrutura, vislumbrada pela doutrina, contempla uma organização básica de apoio

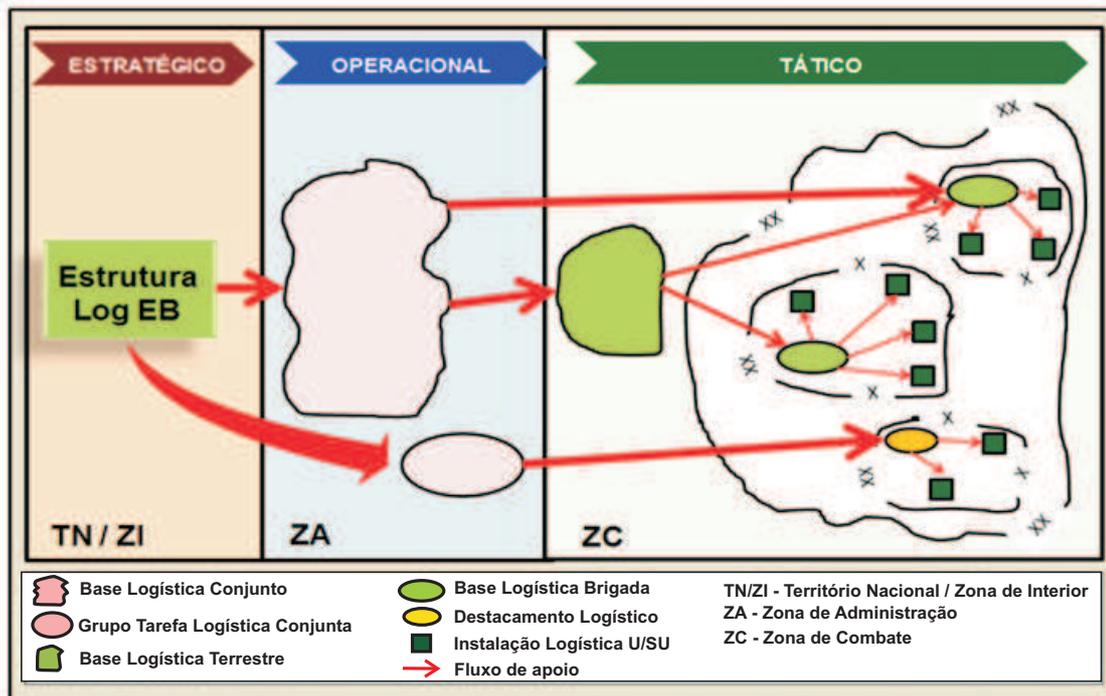


Figura 2.3: Áreas de interesse logísticos.
Fonte [16].

logístico às operações que podem ser desdobradas em áreas designadas como: Base Logística Conjunta, Grupo Tarefa Logística Conjunta, Base Logística Terrestre (BLT), BLB, Destacamento Logístico e Instalação Logística de Unidade ou de Subunidade.

A BLT, exemplo da Figura 2.4, é a área na qual os Grupamentos Logísticos desdobram seus meios orgânicos e outros recursos específicos necessários ao apoio logístico a uma Força Operativa. Poderá – caso determinado e desde que receba meios - prover o suporte a outras Forças de Componente, a agências civis ou à população localizada na área de responsabilidade dessa força.

A BLB é a área onde são desdobrados os meios orgânicos dos Batalhões Logísticos e outros recursos específicos necessários ao apoio a uma grande unidade. Sua organização é modular e fundamentada em meios dotados de mobilidade tática, de modo a possibilitar o apoio às operações e assegurar certo grau de autonomia à força apoiada. Tem como finalidade executar o apoio logístico às forças integrantes de um grande comando operacional e, conforme determinado, a outras forças e à população civil.

A BLT e BLB são consideradas áreas de desdobramentos de meios, cuja localização, quantidade e composição decorrem da Análise de Logística, considerando, particularmente, as distâncias de apoio e, ainda, a natureza e o valor da força a sustentar. São

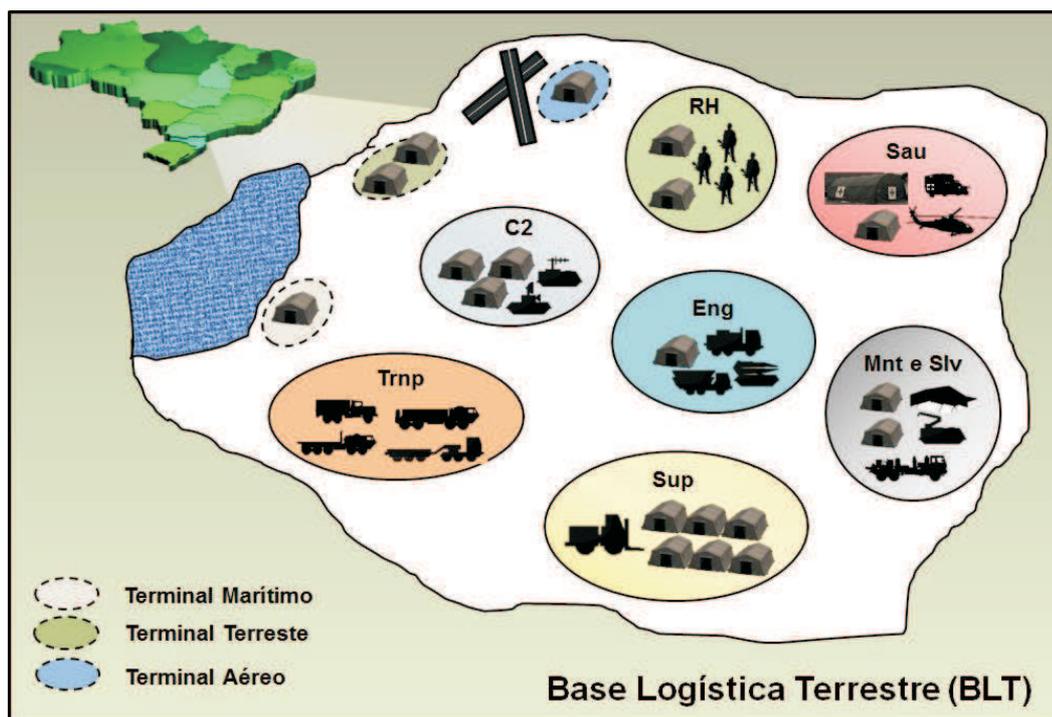


Figura 2.4: Desdobramento da BLT.

Fonte [16].

estruturadas de forma que o apoio ao conjunto seja realizado por meios especializados e de menor mobilidade e o apoio direto por intermédio de elementos de maior mobilidade, adaptados às necessidades da Força Operativa e a cada tipo de operação. A missão precípua da BLT é servir de ponto intermediário, Figura 2.3, entre as estruturas logísticas: operacional e tática.

As bases citadas possuem organização variável, sendo que o planejamento adequado da distribuição de suprimentos é de fundamental importância para o sucesso da atividade fim. A distribuição citada engloba um sistema de pessoal, instalações, técnicas e procedimentos, visando a receber, a acondicionar, a movimentar, a entregar e a controlar o fluxo da cadeia logística entre o ponto de recepção e o ponto de destino. A flexibilidade e a adaptabilidade aplicadas ao sistema de distribuição asseguram uma melhor utilização dos meios de transporte disponíveis e reduzem ao mínimo indispensável os percursos, os transbordos e os manuseios dos recursos. Portanto, para obter-se uma melhor estrutura de apoio logístico às operações é necessário que as instalações militares estejam adequadamente localizadas.

Os condicionantes de planejamento, citados no manual de doutrina de logística [16], como determinação das necessidades, disponibilidade de meios, disponibilidade de recursos financeiros, determinação de fatores restritivos, disponibilidade de itens críticos,

possibilidade de utilização de recursos civis, são fatores que influenciam o estudo para localização das bases logísticas nos diversos escalões.

A logística é planejada para diversos tipos de operações: ofensivas, defensivas, de pacificação e de apoio aos órgãos governamentais. É usual que neste planejamento contemple-se um estudo de áreas que serve para apoiar o desenvolvimento das operações. No caso das operações de combate, pode ocorrer o desdobramento das bases logísticas de brigadas.

Estas BLB são localizadas na Zona de Combate (ZC) de acordo com os planejamentos operacionais e as necessidades logísticas decorrentes. Situa-se, normalmente, na área de retaguarda do escalão. Para a localização desta área (BLB) de divisão de exército ou de brigada devem ser considerados os fatores que se seguem: manobra tática do escalão considerado; as características das prováveis áreas de desdobramento (terreno); as condições de segurança para a prestação do apoio; a situação logística existente (estradas, ferrovias, etc.); e, outros fatores. A Figura 2.5 apresenta os principais fatores preconizados atualmente na doutrina militar terrestre.

Baseado no manual de campanha "Apoio Logístico na Divisão de Exército e na Brigada"[13], apresentam-se as características de alguns subfatores que compõem os critérios supracitados.

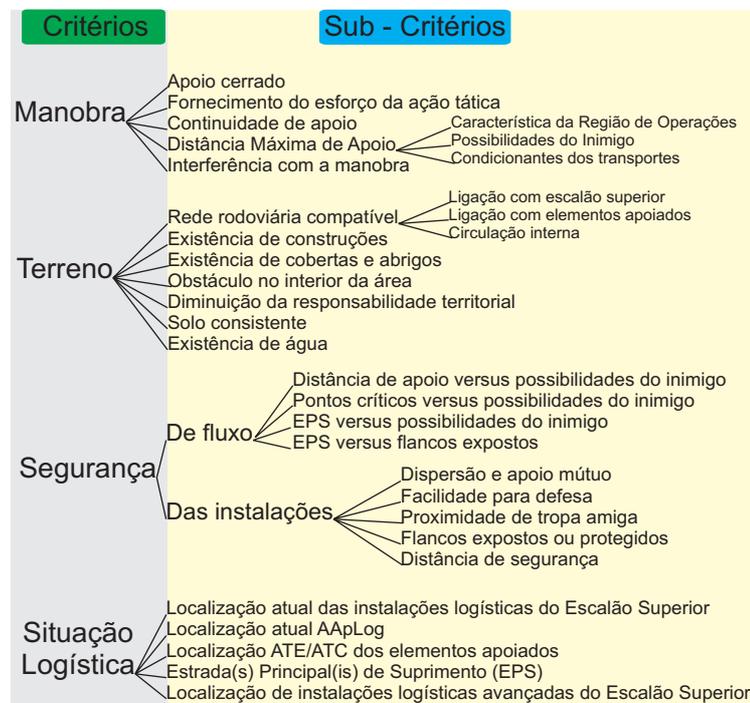


Figura 2.5: Fatores determinantes para escolha de localização de Base Logística.

Fonte (Adaptado de [13]).

Ressalta-se que a escolha destes critérios/subcritérios foi realizada para uma análise

inicial do modelo matemático adotado no processo decisório e que, para isso, foram utilizados, também, dados de valor médios existentes no Exército cujo compêndio encontra-se no manual denominado como "Dados Médios de Planejamento Escolar" (DAMEPLAN.ME-101-0-03) [15].

Fator Manobra:

- Distância máxima de apoio (DMA) - É a maior distância, medida por estrada, admitida entre a BLB e as áreas de trens de estacionamento das unidades de combate (ATE) ou áreas de trens das unidades de apoio ao combate (AT). Caso as ATE se localizem nas proximidades da área de apoio logístico, tomar-se-á como referência as respectivas áreas de trens de combate (ATC). Quando a localização das áreas de trens não for definida, a referência será a Linha de Contato (LC) ou o Limite Anterior da Área de Defesa Avançada (LAADA), na Z Aç dos elementos mais afastados a apoiar. Se, na Z Aç considerada, as rodovias existentes não atingirem a LC ou o LAADA, buscar-se-á a maior distância de apoio possível, ou seja, o ponto mais afastado por estrada. Essa distância, expressa em quilômetros, baseia-se no fato de que as atividades de suprimento se desenvolvem no período noturno, espaço de tempo de que dispõem as viaturas para realizar o percurso de ida e volta entre as instalações de suprimento e os trens dos elementos apoiados. Seu valor resulta da multiplicação do número de horas disponíveis para o deslocamento (tempo de direção sem contar o de carregamento, descarregamento e manobra) pela velocidade média estimada. A distância máxima de apoio é variável em função de fatores como: características da região de operações; possibilidades do inimigo; condicionantes dos transportes (meios disponíveis) e grau de segurança desejado, entre outros.

- Apoio cerrado - Traduz-se na avaliação da distância, medida por estrada, até os elementos a apoiar, considerando-se prioritária a Z Aç do elemento que realiza o ataque principal ou que defende o setor mais importante da frente. O apoio será tanto mais cerrado quanto menor for aquela distância;

- Favorecimento do esforço da ação tática - É caracterizado pela posição relativa da base em face do ataque principal, na ofensiva, ou da maioria de meios, na defensiva, considerada a malha viária existente. O esforço será tanto mais favorecido quanto mais eixada, por estrada, estiver a área em relação a ação decisiva, considerando-se a malha viária existente;

- Continuidade do apoio - Traduz-se pela capacidade de apoiar a todos os elementos empregados até o fim da operação prevista, com o mínimo de mudanças de posição. Assim, quando de uma única área pode-se apoiar toda a manobra, diz-se que ela apresenta

as melhores condições quanto a este aspecto. Mudanças de posição acarretam fechamento e reabertura de instalações, mudanças de itinerários, comprometimento de meios de transporte e outras restrições que retardam ou interrompem o fluxo de apoio;

- Interferência com a Manobra - Diz respeito à possibilidade de dificultar ou impedir os deslocamentos das unidades em reserva e das unidades de apoio ao combate, ou, ainda, restringir o espaço necessário ao desdobramento de instalações de comando e elementos em zona de reunião;

Fator Terreno:

- Rede rodoviária compatível - Trata-se do estudo da trafegabilidade das vias que assegurem ligações com o escalão apoiador e com os elementos apoiados, e da disposição da malha viária, quando se refere à circulação no interior da base, sob o enfoque da ligação com escalão apoiador, ligações com os elementos apoiados e circulação interna;

- Existência de água - Esse aspecto é verificável a partir do reconhecimento no terreno. Deve-se verificar a quantidade e a localização das fontes de água disponíveis, suas condições de exploração e a qualidade da água;

- Existência de construções - Refere-se à quantidade, tipo e disposição no terreno das construções existentes e passíveis de serem aproveitadas para melhorar a prestação do apoio, tais como sítios, fazendas, instalações industriais, habitações isoladas, hospitais, escolas, localidades e outras. A utilização parcial ou total de localidades demanda a consideração de aspectos como: circulação interna, situação da população, preceitos do direito internacional e dos conflitos armados e da disponibilidade de recursos locais. A avaliação sobre a conveniência da utilização de localidades dependerá das informações disponíveis, normalmente colhidas ainda no Exame de Situação Logística. A decisão sobre a utilização de localidade para desdobramento da BLB deve considerar os aspectos positivos (facilidade de desdobramento, e rapidez na execução do apoio e outros) e negativos (a utilização de qualquer instalação para desdobramento de instalação logística a transformará em alvo militar) que dela advirão;

- Cobertas e abrigos - Refere-se à existência de cobertas e abrigos naturais, capazes de proporcionar ocultação e/ou proteção às instalações. A configuração do terreno e a cobertura vegetal são os parâmetros que, normalmente, definem esse aspecto;

- Obstáculo no interior da área - Considera-se aqueles, naturais ou artificiais, capazes de restringir ou impedir o movimento sobre uma via de circulação interna ou periférica, de dissociar uma parte da área ou de reduzir seu espaço aproveitável. Podem configurar

tais situações: rios, regiões alagadiças, terreno de formação rochosa, ferrovias e outros.

- Consistência do solo - Esse aspecto é verificável a partir do reconhecimento no terreno. A baixa consistência do solo pode prejudicar a execução do apoio a ser prestado, bem como dificultar a adoção de medidas passivas de proteção;

Fator Segurança:

- Segurança das instalações - Dispersão e apoio mútuo - Consistem em verificar se a área escolhida proporciona uma adequada dispersão das instalações sem prejuízo ao apoio mútuo requerido entre as frações que irão se desdobrar no interior na BLB. Essa dimensão varia, principalmente, em função do terreno, dos meios a desdobrar e do grau de risco assumido pelo comandante. Trata-se, portanto, de avaliar as possibilidades da região escolhida à luz do espaço físico que ela abrange, nele visualizado o desdobramento dos meios. Para isso, é importante o reconhecimento no terreno;

- Segurança das Instalações – Proximidade de tropa amiga – Trata-se de verificar se a região analisada tem ou não possibilidade de se beneficiar da existência de tropa em suas proximidades. Para que se configure essa possibilidade, é necessário que a tropa esteja justaposta à região considerada, ou dela tão próxima que permita incluí-la, total ou parcialmente, no seu dispositivo de segurança. É necessário, ainda que essa tropa seja de valor e natureza compatíveis com a segurança desejada;

- Segurança das Instalações – Distância de segurança - É a distância mínima que a BLB deve estar da artilharia de foguetes do inimigo a fim de proteger as instalações logísticas dos fogos desta. Esse aspecto pode ser relativizado em razão do risco admitido pelo comandante. Em razão disso, a BLB poderá estar ao alcance da artilharia de foguete do inimigo com a finalidade de se realizar um apoio mais cerrado. A artilharia de tubo poderá também ser considerada caso haja informações de que o inimigo possua um eficiente sistema de busca de alvos (ameaças). A análise sob o presente aspecto consiste em verificar se a região selecionada se encontra ou não dentro do alcance inimigo. Devido a pouca recuperabilidade dos meios da BLB, é um aspecto impositivo;

- Segurança de fluxo – a) Distância de apoio x possibilidades do inimigo - Baseia-se no fato de que, quanto maior for a distância a percorrer para proporcionar o apoio, maior será a possibilidade de intervenção do inimigo (infiltrado, guerrilheiro, paraquedista ou aéreo) sobre o fluxo. Isto equivale a dizer que viaturas isoladas ou comboios estarão, por maiores períodos de tempo ou em maiores trechos, expostos à ação inimiga. Essa ação pode ainda ser realizada, de forma indireta, sobre a via de transporte, com maiores pro-

babilidades quanto maior for a extensão do percurso. b) Pontos críticos x possibilidades do inimigo - Baseia-se em que um ponto crítico situado ao longo de uma via utilizada como Estrada Principal de Suprimento (EPS) oferece ao inimigo a possibilidade de, atuando sobre ele, interferir no fluxo, levando à sua restrição ou interrupção. Como pontos críticos, podem ser considerados viadutos, pontes, passagens de nível, desfiladeiros e outros. c) EPS x possibilidades do inimigo - Verifica-se que, quanto mais próxima(s) a(s) estrada(s) principal(is) de suprimento passar(em) por regiões adequadas ao homizio de inimigo infiltrado ou guerrilheiro, ou ao lançamento do inimigo aeroterrestre/aeromóvel, maior é a necessidade de proteção dos comboios e de patrulhamento de estradas; d) EPS x flancos expostos - Verifica-se que, quanto mais próxima(s) a(s) estrada(s) principal(is) de suprimento estiver(em) de flancos expostos às penetrações inimigas, maior ameaça existe à continuidade do fluxo de apoio;

- Segurança das Instalações – Facilidade para defesa - É relacionada com as características do terreno, que facilitem a defesa do pessoal e das instalações, e é, como um todo, propiciada pela existência de elevações que permitam a instalação de postos de vigilância, de cursos de água obstáculos, onde os limites da referida área possam se apoiar, ou a inexistência de faixas ou pontos favoráveis à infiltração inimiga;

- Segurança das Instalações – Flancos expostos ou protegidos - É analisado em função do afastamento de uma área em relação a flancos expostos à penetração do inimigo ou de flanco seguramente protegido por tropas vizinhas ou por obstáculos de vulto;

Fator Situação Logística:

- Localização atual das instalações de apoio logístico do escalão apoiador - É caracterizado pela posição da BLB em face da localização das instalações logísticas do escalão apoiador, considerada a orientação da(s) ligação(ões) rodoviária(s) existente(s);

- Localização atual do batalhão logístico (B Log) - Considera-se que uma determinada região é favorecida se nela o B Log já se encontra total ou parcialmente desdobrado. O critério estabelecido fundamenta-se no fato de que a mudança de posição de um B Log implica prejuízo à execução do apoio e desgaste de pessoal e material;

- Localização atual das AT ou ATE dos elementos apoiados - É caracterizado pela posição da BLB em face das AT ou ATE dos elementos apoiados, considerada a orientação da(s) ligação(ões) rodoviária(s) existente(s);

- EPS em uso ou previstas - A escolha de uma região para desdobramento da BLB implica na proposta de uma EPS para servi-la, que normalmente se constitui no prolonga-

mento de (ou na ligação a) uma via já em uso ou para qual o escalão apoiador já planejou as atividades de transporte. Assim, ao se analisar a localização de uma base sob esse aspecto, deve-se ter em mente que ela será tanto mais adequada se não aumentar os encargos do escalão apoiador, principalmente em relação aos cuidados em relação à EPS, tais como aumento da distância a ser percorrida, melhorias nas condições de trafegabilidade e necessidade de reconhecimentos mais detalhados, entre outros;

- Localização de instalações logísticas avançadas do escalão superior. No decorrer da análise de uma ou mais regiões, visando ao desdobramento da BLB, outros aspectos não enquadrados pelos fatores citados, poderão ser considerados. A inclusão desses aspectos na análise das regiões selecionadas é fruto da situação. Dentre os aspectos possíveis de influírem no processo de priorização do local da BLB cita-se: sigilo das operações, atitude da população, otimização dos transportes, limitações dos meios de transporte, prazos, duração das operações, necessidade de abertura de destacamento logístico, flexibilidade, etc.

Portanto, pode-se verificar que a logística possui destacada importância na doutrina militar terrestre, especialmente no que tange aos aspectos da recente atualização do manual de campanha- Logística. Assim, tratou-se dos principais conceitos militares relacionados ao tema a fim de contextualizar o problema, enfatizando as características das bases logísticas.

Dada a incerteza e imprecisão de informações no espaço de batalha, no contexto de amplo espectro onde a Força Terrestre atualmente pode ser empregada, avulta em importância o problema de localização das áreas a serem ocupadas pelas bases citadas, particularmente no caso de BLB. Assim, é necessário um estudo de situação detalhado e coerente com as múltiplas necessidades.

As escolhas impróprias podem significar custo elevado para uma operação militar, além de minimizar ou maximizar os riscos aos quais os elementos de primeiro escalão são submetidos, e nada mais adequado que decidir problemas logísticos de forma sistematizada para não implicar na exposição das tropas durante as operações. Nesta breve apresentação da teoria que trata de logística, sugere-se que as utilizações de abordagens multicritérios em problemas reais podem refletir apropriadamente a complexidade da medição de aspectos não tangíveis.

Capítulo 3

Referencial Teórico

Neste capítulo, efetua-se uma revisão bibliográfica sobre o problema de localização de instalações e as potenciais estratégias de solução existentes sobre o tema. Faz-se uma revisão da literatura existente sobre Teoria da Decisão, com ênfase na evolução histórica que levou à crescente utilização de metodologia com vários critérios no auxílio à tomada de decisão, bem como a adoção de métodos multicriteriais desenvolvidos na atualidade.

A revisão bibliográfica proposta, similar a [31], busca também compreender o processo no qual a Pesquisa Operacional tradicional, com a consideração de conceitos de outras áreas do conhecimento humano, promoveu a ampliação do estudo das decisões para além dos rígidos moldes da otimização clássica.

Portanto, busca-se entender que a análise multicritério origina-se como alternativa ao modelo clássico da Teoria de Decisão, passando de uma concepção na qual o problema de decisão é matematicamente bem definido: decisor, com critérios únicos e a informação é perfeita, para um enfoque na pluralidade dos atores e critérios, bem como na informação não perfeita.

3.1 Problema de Localização de Instalações

Os autores [60] frisam que o problema de localização pode ser considerado onipresente, por ser objeto de um interesse tão amplo que tem gerado uma vastidão de artigos e pesquisas.

Conforme o autor [31], citando o pesquisador [75], os seres humanos têm analisado as decisões sobre localização desde que habitaram a primeira caverna. Os autores referenciados relacionam 51 referências bibliográficas sobre localização de instalações envolvendo

diversas aplicações e destacando o aspecto multidisciplinar desse assunto, além de citar entre outros fatores que : os modelos matemáticos de localização são, muitas vezes, extremamente difíceis de resolver, até sua otimalidade.

Os modelos mais simples são geralmente intratáveis computacionalmente para exemplos de maior porte; e, os modelos de localização correspondem a aplicações específicas, ou seja, sua forma estrutural (Função Objetivo, Restrições e Variáveis) estrutura-se conforme as peculiaridades do problema em estudo. Assim sendo, não existe uma única modelagem que seja apropriada para todas as aplicações existentes.

Os autores [54] comentam que os problemas de decisão, em particular as decisões sobre localização de instalações envolvem muitos critérios, quantitativos e qualitativos, que podem ser conflitantes por natureza, como, por exemplo, minimizar custos totais e maximizar qualidade. Para lidar com este dilema, são necessárias ferramentas de auxílio à decisão que considerem os fatores relevantes que afetam a decisão a ser tomada, como também o *tradeoff* entre eles.

Por outro lado, os pesquisadores [1] reúnem opiniões de diversos acadêmicos que participaram de um evento, ocorrido na Espanha, em junho de 1995, sobre o estado atual e as projeções futuras dos modelos discretos de localização de instalações. Os autores mencionam as dificuldades existentes nos modelos de localização que buscam soluções reais ótimas, sugerindo abordagens multiobjetivo no caso do envolvimento de agentes com objetivos conflitantes e da análise de situações complexas.

Várias técnicas também são mencionadas, no artigo de [1], como possíveis maneiras de resolver problemas de localização, dentre as quais a utilização de: probabilidades, Teoria *Fuzzy*, simulação Monte Carlo; e técnicas heurísticas e meta heurísticas, como: *Simulated Annealing*, *Tabu Search* (Busca Tabu), Algoritmos Genéticos, Relaxação Lagrangeana, etc.

Diante do exposto sobre localização, e, considerando o preconizado pela doutrina militar terrestre brasileira, o problema da localização de bases logísticas mostra-se relevante tendo em vista o número elevado de fatores, critérios e subcritérios, quando do estudo de situação militar em operações de guerra ou não guerra.

Assim, com esta pesquisa busca-se evidenciar que é apropriada a utilização de métodos multicritérios para o tratamento de problemas referentes à localização de BLB. Isso se deve, particularmente, pelo fato de se tratar de um problema complexo, em que a escolha da melhor alternativa implica a decisão sobre um conjunto de alternativas competitivas,

com critérios muitas vezes conflitantes.

Portanto, emprega-se o método interativo e com avaliação sintética, conhecido por TODIM-FSE, para apoiar e tornar a decisão mais racional e esclarecida.

3.2 Análise de Decisão

Para o pesquisador [24], talvez a mais antiga contribuição metodológica e filosófica para o desenvolvimento da análise da decisão, na sua forma atual, tenha ocorrido em 1738, quando Daniel Bernoulli apresentou o Paradoxo de São Petersburgo, contestando o “dinheiro” como medida adequada de valor. Surgia, então, o conceito de “utilidade”, como medida numérica para descrever a real importância das consequências de uma decisão. Bernoulli tornou-se o precursor da Teoria da Utilidade, mostrando que a utilidade de um valor em dinheiro variava de indivíduo para indivíduo, conforme o “valor moral” intrínseco a cada ser humano (utilidade esperada).

Em 1896, economista Vilfredo Pareto lançou um conceito de ótimo designado de Eficiência Paretiana ou Otimalidade e pode ser considerado como relevante para a Teoria Econômica e também para Teoria das Decisões. Segundo [31] apud [68], explica que em sua formulação inicial, Pareto considera que: “uma coletividade se encontra num estado ótimo se nenhuma pessoa dessa coletividade pode melhorar sua situação sem que piore a situação de alguma outra pessoa da mesma”.

Durante os séculos XVIII a XX, a Teoria da Utilidade desenvolveu-se irresolutamente, tomando vulto, somente após a Segunda Grande Guerra Mundial, - com as contribuições de Frank P. Ramsey (1931), John Von Neuman e Oscar Morgenstern (1947) e Leonard Savage (1954) - período auge dos avanços tecnológicos também conquistados na Pesquisa Operacional e na Ciência da Administração [24].

Já na segunda metade do século XX, conforme esclarece [36], começam a surgir um crescente número de organizações devotadas ao estudo e à análise de decisões. Neste cenário, rapidamente, instituições de várias áreas criam grupos para *Apoio à Tomada de Decisão*, os quais reúnem matemáticos, estatísticos, cientistas da computação, economistas e especialistas em Pesquisa Operacional. Sendo que na década de 70, surgiram os métodos voltados para os problemas discretos de decisão, no ambiente multicritério ou multiobjetivo, ou seja, métodos que utilizam uma abordagem diferenciada para essa classe de problemas e que passam a atuar sob a forma de auxílio à decisão, não só visando à representação multidimensional dos problemas, mas também incorporando uma série de

características bem definidas quanto a sua metodologia.

Os procedimentos destes métodos de análise de decisão multicritério estão baseados no princípio de que a experiência e o conhecimento das pessoas são pelo menos tão valiosos quanto os dados considerados na análise de uma alternativa. A adoção de procedimentos multicritérios é importante na análise de problemas complexos, em que vários tomadores de decisão estão envolvidos, nos casos que envolvem características quantitativas e qualitativas de difícil mensuração, ou que representem pontos de vista conflitantes [81].

Vários procedimentos podem ser utilizados para solucionar problemas com características multicriteriais. A adoção particular de um ou outro método deve levar em conta as características de cada modelo, adaptadas ao cenário específico que irá suportar a sua implementação conforme o autor [63] *apud* o pesquisador [10].

Conforme argumentam os autores [40], é na análise, no sentido de decomposição de um problema em um conjunto de situações de menor complexidade, onde reside a principal característica da metodologia multicritério, pois ela supre os decisores com ferramentas que dão clareza às premissas e critérios adotados, de forma a que possam ser rastreados os motivos pelos quais determinadas ações foram tomadas. Assim, de acordo com o autor [63] *apud* o pesquisador [40], não se pode encarar a análise de decisão como se a mesma sozinha produza os resultados.

Os autores [5] apresentam alguns pontos que necessitam ser esclarecidos com relação à análise de decisão multicritério: a) análise de decisão multicritério fornecerá a resposta correta; b) análise de decisão multicritério fornecerá uma análise objetiva que irá retirar dos decisores a responsabilidade de fazer julgamentos difíceis; c) análise de decisão multicritério irá retirar o sofrimento de tomar decisão. Esclarecem ainda que não existe resposta certa mesmo dentro do contexto do modelo usado.

O conceito de um ótimo não existe em estrutura de multicritério e assim análise multicritério não pode ser justificada dentro do paradigma da otimização, frequentemente adotado na tradicional Pesquisa Operacional e na Ciência do Gerenciamento. A análise de decisão multicritério é uma ajuda à tomada de decisão, é um processo que busca integrar medida objetiva com julgamento de valor e tornar explícita e gerenciável a subjetividade.

Entre outros objetivos, a análise de decisão multicritério visa fundamentalmente esclarecer a todos relacionados ao processo, o entendimento do problema em questão, com todas as variáveis e elementos envolvidos. Nesta tarefa de esclarecimento, a subjetividade pertence ao processo de decisão, especialmente na presença de múltiplos critérios quase

sempre contraditórios.

Teoria da Decisão

O estudo da análise da decisão vem sendo, então, amplamente discutido até os dias atuais, consolidando-se como Teoria. Quanto à análise de decisões, o autor [31], citando Scön (1982), afirma que decisões organizacionais críticas são complexas e únicas.

Assim, os problemas de decisão envolvem situações complexas, nas quais regularmente há: incertezas quanto ao caminho a seguir, aos objetivos a serem alcançados, às diferentes alternativas de solução e aos grupos de pessoas envolvidas e/ou atingidas pela decisão; conflitos de valores e objetivos entre os grupos ou pessoas interessadas na decisão; diferentes relações de poder entre os indivíduos ou grupos de interesse envolvidos no processo decisório; múltiplos critérios na avaliação das alternativas que, a priori, não estão claros; elevada quantidade de informações, tanto quantitativas quanto qualitativas, que devem ser consideradas durante o processo decisório; informações incompletas, não obstante a grande quantidade de dados disponíveis; e soluções criativas, e, muitas vezes inéditas [31].

O questionamento básico da Teoria da Decisão é a pergunta intrínseca que se pronuncia no decorrer de qualquer processo decisório: Como é possível tomar uma boa decisão?

O autor [34] ressalta que foi precisamente no esforço de tentar responder a esse questionamento que a Teoria da Decisão firmou-se como campo do conhecimento científico. Uma decisão que pode parecer excelente hoje poderá, no futuro, ser passível de revelar-se catastrófica, porque as decisões são válidas para um cenário específico, o que inclui os valores do cliente-alvo da decisão, seja uma pessoa, um grupo de indivíduos ou uma organização.

Existe, ainda, um consenso, por parte dos estudiosos da Teoria da Decisão, de que o caminho necessário para se tomar uma boa decisão normalmente abrange as seguintes etapas, não necessariamente nesta sequência [34]:

1. ter certeza de que se pretende resolver o problema verdadeiro que se tem à frente – e não algum outro problema, inexistente na realidade;
2. pensar suficientemente sobre o problema, procurando manter distanciamento de eventuais envoltimentos emocionais, jamais tendo como verdade a opinião alheia;
3. obter todas as informações relevantes;
4. identificar de forma clara o que efetivamente importa, ou seja, o “núcleo duro” da decisão;

5. considerar explicitamente os comprometimentos de natureza moral e ética;
6. gerar o conjunto mais amplo possível de alternativas viáveis;
7. listar os objetivos da tomada de decisão, tanto quantitativos como qualitativos;
8. para cada um dos objetivos listados, explicitar os critérios da decisão. Assim, um objetivo como “maximizar a importância social do projeto” pode ser desdobrado nos critérios: a) atendimento às necessidades mais urgentes da população carente, e b) promoção da mobilidade social;
9. explicitar as consequências de cada alternativa com relação a cada um dos critérios de decisão, junto com uma estimativa da probabilidade de que cada uma dessas consequências, de fato, se materialize. A melhor forma de fazê-lo é por meio de uma tabela, na qual as linhas estarão associadas às alternativas e as colunas corresponderão aos critérios. A informação contida no cruzamento entre cada linha com cada coluna advirá de cálculos, juízos de valor e/ou consultas a expertos;
10. partindo-se das nove etapas anteriores, realimentando-as, porém, na medida do necessário, utilizar um dos vários métodos analíticos disponíveis na literatura de Teoria da Decisão – os métodos multicritério – para selecionar, ordenar, classificar ou descrever detalhadamente as alternativas a partir das quais se tomará a decisão. A realimentação se deve ao fato de que, ao longo dessa análise técnica, poderá emergir algum aspecto do problema sobre o qual não se tinha atentado durante as nove etapas anteriores, gerando, assim, por exemplo, novas alternativas ou novos critérios;
11. efetuar crítica dos resultados obtidos na décima etapa. Tentando assumir tanto a posição de quem tomará a decisão como de quem viverá as consequências diretas e indiretas da decisão. Eventualmente, em decorrência dessa crítica, haverá necessidade de se refazer a décima etapa; e
12. produzir recomendações bem objetivas para quem tomará a decisão, aqui incluídas a proposta da decisão em si e a melhor forma de implementá-la, garantindo a documentação transparente de todas as etapas, com vistas à aprendizagem organizacional. A percepção da viabilidade da implementação de cada uma das alternativas candidatas deverá, aliás, permear todo o processo descrito anteriormente, podendo, em muitos casos, constituir-se um dos critérios de decisão.

As nove primeiras etapas constituem o que se denomina, geralmente, por estruturação do problema. A décima e a décima primeira etapa constituem a análise da decisão”, ao passo que a última é a “síntese” [34].

3.3 Análise Multicritério

Conforme esclarece [61], o campo da tomada de decisão multicritério (MCDM) tem se desenvolvido rapidamente nos últimos 40 anos. Critério, por definição significa “princípio que se toma por referência e que permite distinguir; padrão de julgamento”, que num contexto de tomada de decisão implicaria em algum tipo de padrão no qual uma escolha particular ou sequência de ações poderiam ser julgadas como mais desejadas que outras [83].

Se for considerado que dentre estas diferentes escolhas existem padrões tais que conflitem entre si de forma substancial, aborda-se claramente um problema de tomada de decisão multicritérios [5].

O autor [31] *apud* o pesquisador [58] comenta que a análise multicritério tem como principal objetivo auxiliar o homem a fazer escolhas em conformidade com seus interesses, em circunstâncias de dúvidas, incertezas, conflitos de informações e concorrência entre vários critérios. Ao contrário da otimização, cujos problemas são estáveis e definidos, a análise multicritério versa sobre problemas cuja formulação está sujeita a alterações ao longo de seu processo de solução, visto que o próprio processo de decisão é considerado parte integrante do problema.

Para os autores [56], a característica básica da análise multicritério é o fato de que vários aspectos relevantes da decisão podem ser levados em consideração sem a necessidade de traduzi-los em termos monetários, por exemplo.

Na otimização clássica sob-restrições ou na programação matemática com uma única função objetivo, procura-se o valor máximo ou mínimo de uma única função objetivo, submetida a um conjunto de restrições a ser respeitado. Isso equivale a afirmar que todas as consequências derivadas da escolha de cada uma das alternativas podem ser reduzidas ou expressas em termos de uma única função avaliadora. E ainda, todas as condições ou restrições devem ser atendidas, o que introduz a uma rigidez excessiva às decisões.

Entretanto, na prática, o tomador de decisão costuma usar vários critérios simultaneamente para avaliar as diferentes alternativas, sendo alguns deles difíceis de medir no que se refere às consequências não monetárias (por exemplo, o impacto sócio ambiental, a qualidade, a segurança, etc.). Ainda que pudessem ser incorporados ao modelo por intermédio de restrições, percebe-se a dificuldade de se lidar, ao mesmo tempo, com múltiplas dimensões, além da monetária [34].

Para o autor [31], a análise multicritério estuda formas de auxiliar o homem, neste contexto denominado decisor, a decidir mediante a presença de incertezas e conflitos de interesses. Normalmente, um único enfoque é insuficiente para considerar toda a informação exigida e todas as contradições relativas ao problema, o que sugere então a relevância de considerar múltiplos critérios durante o processo da análise de decisão.

Portanto, considerando a afirmação de [74] que, em se tratando de análise multicritério para a tomada de decisão, a experiência e o conhecimento das pessoas são pelo menos tão valiosos quanto os dados utilizados. Observa-se também, no meio militar, que a análise de multicriterial em ações militares é realizada tomando por base ensinamentos em missões anteriores, bem como os bancos de dados oriundos de análise pós-ação (APA).

3.4 Métodos Multicritérios

Até os anos 60, a Pesquisa Operacional foi dominada pela procura do ótimo, que se tornou a principal justificativa para o desenvolvimento de novos métodos [69].

Esclarece [31] que a análise multicritério ganhou um interesse crescente, na Europa, no início dos anos 70. Este interesse direcionava-se a aplicações práticas, cita-se entre outros, em especial em problemas de localização, planejamento arquitetônico e problemas de transportes.

Os métodos multicritério têm sido desenvolvidos para apoiar e conduzir os decisores na avaliação e escolha das alternativas-soluções, em diferentes espaços. O espaço das variáveis de decisão, em particular, consiste no conjunto de decisões factíveis e não factíveis para um dado problema. Nas decisões em grupo, as preferências individuais podem ser combinadas de modo a resultar em uma decisão em grupo. As variáveis de decisão são as ações detalhadas, que devem ser decididas e comunicadas. A decisão em grupo é, assim, consequência de um intercâmbio de decisões entre os membros do grupo do qual emana a negociação das propostas aceitáveis. Se o compromisso é obtido, elas são automaticamente acordadas [36].

Esclarece ainda, estes pesquisadores que a abordagem do problema de decisão, sob o enfoque do apoio multicritério à decisão, não visa apresentar ao decisor ou aos decisores uma solução para seu problema, elegendo uma única verdade representada pela ação selecionada. Visa, isto sim, como seu nome indica, apoiar explicitamente o processo decisório, por meio da recomendação de ações ou de cursos de ações a quem vai tomar a decisão. Se a qualidade da informação disponível ao longo do processo de resolução de

um problema complexo é de inquestionável importância, também o é a forma de tratamento analítico daquela mesma informação. Essa forma deve fundamentalmente agregar valor àquela qualidade da informação, havendo, por conseguinte, uma desejada simbiose entre a qualidade da informação e a qualidade do apoio à tomada de decisão. O Apoio Multicritério à Decisão, com seus vários métodos, é o meio por excelência pelo qual tal simbiose se materializa.

Classificação dos Métodos Multicritérios

O autor [19] sugere a divisão dos métodos multicritério em três categorias, mesmo considerando indistintos os limites entre elas: a) Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT – MultiAttribute Utility Theory); b) Métodos de sobreclassificação ; e c) Métodos interativos.

Teoria da Utilidade Multiatributo

Esta abordagem é considerada clássica na análise multicritério, desenvolvida por pesquisadores da Escola Americana - [45], fundamentando-se em modelos matemáticos restritivos e axiomáticos rígidos, que determinam como o decisor deve agir para que sua decisão seja racional. Em contrapartida, importantes contribuições nos campos da psicologia, da sociologia e da ciência cognitiva levaram ao desenvolvimento de outros modelos multicritérios - reunidos na Escola Francesa ou Europeia [58].

Considerando a classificação sugerida pelo autor [69], a MAUT adota a abordagem de Critério Único de Síntese, na qual um determinado critério é transformado em uma função de utilidade, que pode ser especificada numericamente, assumindo a preexistência de um sistema de preferências, transitividade e independência das preferências do decisor [19].

A Teoria da Utilidade Multiatributo consiste em uma extensão natural da Teoria da Utilidade, para o contexto no qual cada alternativa seja descrita por uma lista de atributos, no qual o tomador da decisão busca sempre a solução correspondente ao maior valor possível da função de utilidade. No conjunto de métodos multicritérios, a MAUT é o único método que, a rigor, recebe o nome de teoria, embora seja empregado, algumas vezes, como método analítico. O fato de ser considerado também como teoria sugere que a MAUT tem sólida fundamentação, sendo provavelmente o método multicritério menos adequadamente considerado heurístico [31].

Já o método AHP - criado por Saaty, em 1977 - também pode ser considerado como de Critério Único de Síntese, que decompõe o problema em níveis hierárquicos, determinando uma medida global para cada alternativa, através da síntese dos valores dos agentes da decisão, classificando-as ou priorizando-as. Ele é um dos primeiros métodos desenvolvidos para solucionar problemas de tomada de decisão na presença de múltiplos critérios, quantitativos e qualitativos [34].

Métodos de sobreclassificação

Tais métodos são representantes da Escola Francesa ou Europeia, admitindo uma abordagem de Subordinação (prevalência) de Síntese que difere do Critério Único de Síntese, típico da Escola Americana, modelando as preferências do decisor através de relações binárias, a qual se baseia no princípio de que uma alternativa pode apresentar um grau de dominância sobre outra, ao invés da suposição de que uma única “melhor” solução pode ser identificada [31].

Esclarece, ainda, que o princípio subjacente à abordagem da Subordinação de Síntese é expresso pelo axioma de comparabilidade parcial, primeiramente desenvolvido por [69], segundo o qual três situações fundamentais de preferência podem ser encontradas: Incomparabilidade (R) Preferência Estrita (P) e Indiferença (I) e, ainda, em algumas circunstâncias, a Preferência Fraca (Q), a qual leva em consideração casos de indecisão entre P e I [53].

Entre os métodos mais conhecidos e utilizados estão: a família ELECTRE – *Elimination et Choix Traduisant la Réalité*, a família PROMETHEE – *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*, ORESTE e TOPSIS (*Technique Order Preference by Similarity to Ideal Solution*).

Métodos interativos

Conforme expõe o autor [19], diferentemente das duas primeiras abordagens, nas quais a preferência é introduzida a priori, o terceiro e mais recente grupo envolve os métodos que alternam passos de cálculos e diálogos com o decisor. O primeiro passo de cálculos apresenta uma solução inicial que é apresentada ao tomador da decisão, que reage dando informações extras sobre suas preferências. Com a incorporação dessas informações, uma nova solução pode ser construída. Para ser definido como um método interativo, o papel do decisor deve ser não só no sentido de definir o problema, mas também de intervir no procedimento, para elaboração da solução. Dentre muitos métodos propostos na literatura,

alguns exemplos são: o STEM, criado pelo pesquisador [7], que reduz progressivamente o espaço das soluções de compromisso iterativamente pela adição de restrições aos valores dos critérios; o Método de Vanderpooten, criado por [85], que propõe comparações par a par entre a alternativa preferida corrente e outra que represente um potencial de melhoramento [19].

Classificação quanto aos objetivos

O conceito de otimalidade ou eficiência paretiana alcançou grande importância no âmbito das decisões multicritérios, podendo ser então definida como: “um conjunto de soluções é eficiente (ou Pareto ótimas) quando está formado por soluções factíveis (isto é, que cumprem as restrições), tais que inexistente outra solução factível que proporcione uma melhoria num atributo sem piorar ao menos um dos demais atributos” [68].

O problema multicritério relaciona-se aos métodos e procedimentos pelos quais os vários critérios podem ser formalmente associados no processo de análise. De uma forma geral, estes problemas dividem-se em problemas multiatributos e multiobjetivos. Os primeiros caracterizam-se pela existência de uma quantidade finita de alternativas explicitamente conhecidas. Os problemas multiobjetivos referem-se aos casos em que as alternativas são definidas implicitamente por um conjunto de restrições matemáticas [19].

Muitos problemas do mundo real apresentam uma coleção de objetivos a serem otimizados que são na maioria das vezes conflitantes entre si, ou seja, é impossível melhorar um objetivo sem deteriorar algum outro, estes problemas são conhecidos como multiobjetivos. Por se tratar de objetivos conflitantes, na otimização multiobjetivo cada objetivo corresponde a uma solução ótima. Isso faz com que esses problemas apresentem um conjunto de soluções ótimas. Problemas mono-objetivos também podem ter essa característica.

O pesquisador [46] expõe que os métodos decisórios multicriteriais existentes podem ser agrupados em dois grandes ramos, no que tange aos objetivos envolvidos no problema: único objetivo; e múltiplos objetivos ou multiobjetivo.

A abordagem multiobjetivo é aplicada ao problema desta pesquisa, de classificação de BLB, já que se trata da determinação de múltiplos critérios em atendimento a múltiplos objetivos concorrentes, quais sejam: a) econômicos – minimizar custos de deslocamento e manutenção, sempre que possível; b) relacionados ao emprego e preparo das tropas com função logística do EB – maximizar apoio da tropa em primeiro escalão; c) sistêmico-doutrinários – atender ao preconizado pela doutrina militar terrestre; e d) relativos às

preferências de Oficiais envolvidos no processo decisório – maximizar a contribuição participativa dos integrantes do Estado Maior de uma Organização Militar.

Problema de Decisão Multicritério

De forma geral, identifica-se quatro tipos de problemas de apoio à decisão. Segundo o autor [69] os quatro tipos são designados como $P \alpha$, $P \beta$, $P \gamma$ e $P \delta$ e, esclarecem os autores [80], que os problemas de decisão com múltiplos critérios possuem as seguintes características principais:

- Problema $P \alpha$: possui como objetivo primordial selecionar uma única alternativa em um pequeno grupo de boas alternativas ou selecionar um pequeno grupo de alternativas consideradas como satisfatórias;

- Problema $P \beta$: tem por objetivo aceitar alternativas que parecem boas e descartar as que parecem ruins na análise do decisor, ou seja, realiza uma classificação das alternativas; Classificação (classification / sorting), na qual a intenção é classificar as alternativas em grupos homogêneos pré-definidos e que guardem algum tipo de ordem de preferência ou importância entre si, tal como acontece em classificações do tipo ABC de Pareto. Tem como objetivo esclarecer a decisão por uma triagem resultante da alocação de cada ação a uma categoria (ou classe). As diferentes categorias são definidas a priori com base em normas aplicáveis ao conjunto de ações;

- Problema $P \gamma$: tem como objetivo gerar uma ordenação completa ou parcial das alternativas. É considerada também uma Ordenação (ranking), na qual se busca construir uma lista ordenada das alternativas, das melhores para as piores. Ela tem como objetivo esclarecer a decisão por um arranjo obtido pelo reagrupamento de todas ou parte (as mais satisfatórias) das ações em classes de equivalência. Essas classes são ordenadas de modo completo ou parcial, conforme as preferências;

- Problema $P \delta$: tem como objetivo realizar uma descrição das alternativas. Este tipo de problemática tem o propósito de identificar e descrever as principais características que distinguem as alternativas. Ela tem como objetivo esclarecer a decisão por uma descrição, em linguagem apropriada, das ações e de suas consequências.

Escola Americana

A Escola Americana tem por base a Teoria da Utilidade, segundo a qual os problemas de decisão podem ser modelados matematicamente pela maximização de uma função,

chamada de função utilidade, teoricamente capaz de representar a utilidade de cada alternativa para o decisor. Através dessa função, é atribuída a cada alternativa uma nota (valor escalar ordinal), que permite a ordenação de todas as alternativas, da melhor até a pior. A alternativa preferida - a de maior utilidade - é, portanto, aquela que possui a maior nota. Assim, os métodos da Escola Americana caracterizam-se por auxiliar o decisor a construir uma função utilidade conforme suas preferências, baseando-se na teoria axiomática que assegura a existência dessa função [58].

A atitude da Escola Americana é racionalista, pois instrui o decisor a agir conforme algumas regras pré-estabelecidas consideradas necessárias para assegurar um comportamento racional e determina como os métodos devem funcionar, tendo como base os itens a seguir:

- i. uma teoria axiomática bem estruturada que confere aos métodos uma certa rigidez, exigindo do decisor uma atitude isenta de dúvidas ou hesitações, com preferência e indiferença transitivas e com capacidade de avaliar critérios independentes entre si; e
- ii. a convicção de que, antes do início do processo de decisão, o decisor já tem seus valores e seu sistema de preferências bem definidos. Por isso, em geral, seus métodos de decisão extraem do decisor um grande volume de informações para a construção de modelos racionais que respeitem sua preferência e seus valores [58].

Os principais métodos da Escola Americana são descritos a seguir, destaca-se, conforme [31], que os autores frequentemente classificam estes métodos como Métodos de Auxílio à Tomada de Decisão (MCDM), seguindo o paradigma racionalista:

AHP – *Analytic Hierarchy Process* [71]. O problema de decisão é dividido em níveis hierárquicos, com base em critérios que refletem os valores dos agentes da decisão, os quais estabelecem uma medida global para cada uma das alternativas a partir de uma comparação par a par, priorizando-as e classificando-as.

Este método pode ser aplicado seguindo todo um conjunto de passos, ou etapas, com procedimentos matemáticos perfeitamente definidos que permitem traduzir critérios qualitativos em números. Como característica implícita em estruturas hierárquicas, o AHP assume independência entre os elementos do mesmo nível, sendo este um requisito para a sua aplicação. Algumas críticas ao AHP que aparecem no meio acadêmico: Inconsistências impostas pela escala linear de 1 a 9; Entendimento das questões por quem responde as comparações; Inversão na ordem de prioridade das alternativas existentes, com a exclusão ou inclusão de alternativas ou critérios; O número de comparações necessárias pode ser

alto [43].

FUZZY-AHP – *Hierarchical Semi-Numeric Method for pairwise Fuzzy Group Decision Making*. É um caso particular do AHP, que parte de sua estrutura hierárquica e utiliza variáveis linguísticas (baixo, médio, muito baixo, alto, muito alto, etc.) para fazer as avaliações dos critérios e alternativas.

ANP - *Analytic Network Process*. Através da estruturação em rede, o método mostra detalhadamente as relações de influência que existem entre diferentes critérios e aquelas que existem entre critérios e alternativas.

MACBETH – *Measuring Attractiveness by a Categorical based Evaluation Technique*. É um método que permite representar numericamente os julgamentos dos decisores sobre a atratividade global das ações, unindo a representação numérica da informação, com os critérios, dentro de um modelo de avaliação global.

PROGRAMAÇÃO POR METAS – *Goal Programming*. A programação de metas é uma simples modificação e extensão de programação linear, que permite uma solução simultânea de um sistema de objetivos complexos, em que o decisor ordena todas as alternativas a partir da distância de cada uma delas em relação a uma determinada meta que se deseja alcançar.

SMARTS – *Simple Multi-Attribute Rating Technique using Swings*. A partir de um procedimento chamado de *swing weights* (peso das trocas), os autores incluem a questão da amplitude dos valores das alternativas nos critérios à noção de importância e compensação intercritérios.

SMARTER – *Simple Multi-Attribute Rating Technique using Exploiting Rankings*. Após a ordenação dos critérios, utilizam-se valores pré-determinados denominados ROC weights (Rank Order Centroid weights) para os pesos, simplificando a obtenção das utilidades multiatributo.

TODIM – Tomada de Decisão Interativa e Multicritério [37]. O método faz uso da noção de uma medida global de valor calculável pela aplicação do paradigma em que consiste a Teoria dos Prospectos. Este é o método base a ser utilizado nesta dissertação e sua metodologia é detalhada no Capítulo 4.

UTADIS – *Utilités Additives Discriminantes*. Classifica alternativas em categorias pré-definidas pela simples comparação entre o valor da função utilidade global para cada alternativa e constantes usadas para delimitar cada classe.

UTA-CR - *Utilité Additive - CRiteria*. [64]. Este método UTA-CR busca obter funções de utilidades dos critérios que representem melhor as preferências dos decisores. Assim, partindo deste princípio, faz-se o emprego das preferências dos decisores não em relação ao conjunto das alternativas, mas sim em relação ao conjunto de critérios presentes na análise decisória. Assim, este método, que é uma variante do método *Utilité Additive*(UTA), visa obter as funções de utilidades o mais próximo possível das preferências dos decisores. Para obter essas novas funções de utilidades dos critérios, os decisores expressam as suas preferências em relação ao conjunto de critérios e não em relação às alternativas.

Escola Francesa ou Europeia

Os métodos desenvolvidos pela Escola Francesa ou europeia permitem uma modelagem mais flexível do problema, pois não admitem, necessariamente, a comparabilidade entre todas as alternativas, além de não imporem ao analista de decisões uma estruturação hierárquica dos critérios existentes.

Os métodos *Elimination et Choix Traduisant La Réalité* (ELECTRE), que foram desenvolvidos por [69], são denominados métodos de superação, baseados em relações de classificação binária, de acordo com as preferências do(s) decisor(es) e pressupondo-se a qualidade da avaliação. Esses métodos diferenciam-se entre si pela problemática que tentam resolver e também pela quantidade de informações inter e intracritérios utilizadas. Os métodos ELECTRE tiveram cinco desdobramentos: Electre I, II, III, IV e IS.

O autor [58] salienta que o nascimento da Escola Francesa deu-se com o desenvolvimento do primeiro método a empregar o conceito de sobreclassificação o ELECTRE I, em 1968. A origem do termo Escola Francesa deriva-se desse conceito, pois os primeiros métodos a empregá-lo foram desenvolvidos por pesquisadores franceses. Hoje, entretanto, a pesquisa sobre tomada de decisão segundo essa linha de pensamento não está restrita à França. Importantes contribuições têm surgido da Europa Ocidental, especialmente da Bélgica. Por isso alguns autores preferem o termo Escola Europeia. Os métodos de decisão da Escola Francesa caracterizam-se por apresentar dois estágios. No primeiro, são realizadas comparações entre cada alternativa pertencente a A e as demais. A partir dessas comparações, são definidas relações de sobreclassificação entre cada par de alternativas de tal maneira que, dadas $a, b \in A$, se a é pelo menos tão boa quanto b , então se pode dizer que a sobreclassifica b . No segundo estágio, essas relações são exploradas por meio de um conjunto de diretrizes, tendo como objetivo ordenar as alternativas da melhor para a pior, classificar as alternativas em categorias predefinidas ou obter a melhor alternativa

de A. Como já verificado, alguns autores enfatizam as diferenças entre as atitudes de cada Escola, utilizando o termo Tomada de Decisão Multicritério — *Multicriteria Decision Making* ou MCDM— para se referir à abordagem da Escola Americana e o termo Auxílio ou Apoio à Tomada de Decisão Multicritério — *Multicriteria Decision Aid* ou MCDA — para se referir à abordagem da Escola Francesa. Outros preferem diferenciá-las dizendo que a atitude da Escola Americana é normativa ou racionalista, enquanto a da Escola Francesa é construtivista.

Ainda, o autor [58], expõe que a atitude da Escola Francesa é construtivista, auxiliando o decisor a construir suas preferências, considerando que essas são inicialmente instáveis ou inexistentes. Por isso, os métodos extraem do decisor apenas as informações confiáveis e significativas. Em geral, envolvem a especificação de apenas alguns parâmetros de entrada e a execução de algoritmos complexos, que realizam as comparações entre os pares de alternativas, para construir um modelo coerente com as informações obtidas. Baseiam-se em modelos mais completos da preferência humana, os quais incluem incertezas e, às vezes, admitem julgamentos intransitivos. Por outro lado, a complexidade desses modelos dificulta seu uso operacional e torna os métodos de decisão menos transparentes.

A Escola Francesa é criticada, sobretudo, por não se fundamentar em uma teoria axiomática bem estruturada e completa, o que pode gerar, na prática, interpretações ambíguas e comportamento inesperado de seus métodos [31].

3.5 Processo Decisório

O conceito de decisão ou tomada de decisão encontra-se inextricavelmente relacionado ao processo decisório. A decisão, na verdade, realiza-se através de um processo (dinâmico) que evolui com o transcorrer do tempo, durante o qual ocorrem muitas confrontações e interações entre as preferências dos atores [69].

O fluxo do processo de decisão ocorre em diversas etapas – não em um determinado ponto no tempo – que não são necessariamente pré-determinadas ou organizadas de maneira lógica.

Segundo o autor [19] *apud* o pesquisador [2], a tomada de decisão é, apesar de ser parte integrante do dia a dia das pessoas, uma atividade intrinsecamente complexa e potencialmente das mais controversas, em que tem-se naturalmente que escolher não apenas entre possíveis alternativas de ação, mas também entre pontos de vista e formas de avaliar essas ações, enfim, de considerar toda uma multiplicidade de fatores direta e indiretamente

relacionados com a decisão a tomar.

O processo decisório envolve alguns procedimentos necessários à definição de problemas, avaliação de alternativas e escolha de uma diretriz de ações e ou de soluções. Tal processo pode se tornar bastante complexo, caso se tenha um grande número de alternativas diferentes pontos de vista com relação aos tomadores de decisão, critérios conflitantes para a resolução do problema, entre outras questões que podem ocorrer. Desta forma, a tomada de decisão nem sempre será feita de forma simples e despercebida, muitas vezes exigindo-se a aplicação de técnicas de auxílio à tomada de decisão.

O processo decisório também envolve alguns atores. Atores - ou na literatura inglesa *stakeholders* - são as pessoas, grupos e/ou instituições que participam direta ou indiretamente do processo decisório, ou seja, que possuem interesse nos resultados da decisão [27]. No caso de processo decisório militar, de forma similar, esses agentes envolvidos e interessados na atividade de planejamento relacionam-se também visando a esclarecimento dos resultados.

Segundo o autor [34], alguns dos principais participantes envolvidos na prática da Teoria da Decisão são: o tomador de decisão - aquele a quem foi formal ou moralmente delegado o poder de decisão. Também chamado proprietário da decisão ou, simplesmente, decisor, é o responsável último pela decisão a ser tomada. Pode ser uma única pessoa ou um conjunto de indivíduos (um grupo, um comitê, uma companhia), a quem são dirigidas as recomendações sobre qual decisão deve-se tomar; agente de decisão - indivíduo ou grupo de indivíduos que, direta ou indiretamente, realiza cálculos, gera estimativas, ordena preferências e juízos de valor que se empregam ao longo da análise de decisão; e o analista da decisão - profissional conhecedor dos fundamentos e dos métodos da Teoria da Decisão, a quem se atribui a tarefa de administrar a estruturação do problema, sua análise e a produção de recomendações ao tomador de decisão. Pode-se também dizer que a modelagem e a resolução do problema são as atividades essenciais do analista da decisão, que, constantemente, interage com os agentes de decisão e com o próprio tomador de decisão.

Portanto, a percepção do autor [31] quanto às funções desempenhadas pelo tomador de decisão e pelo analista da decisão ao afirmar que são complementares, mesmo que, em última instância, a responsabilidade direta da decisão caiba ao primeiro e não ao segundo, ocorre de forma similar no ambiente de processo decisório militar.

Do exposto anteriormente, pode-se vislumbrar que é adequada a utilização de abordagens multicritérios em problemas que envolvem fatores intangíveis.

Com a revisão bibliográfica sobre a Teoria da Decisão, abordando exemplos modelos multicritérios e as duas principais linhas de estudo sobre o tema - as Escolas Americana e Europeia ou Francesa, conclui-se que o estudo de problemas com enfoque multicritério contribui de forma adequada para esclarecer problemas com múltiplas demandas. Neste capítulo, apresentou-se algumas opções de métodos que existem na literatura de pesquisa operacional que tratam de assuntos de diversas áreas do conhecimento. Isso indica que os métodos e metodologias existentes do apoio multicritério a decisão auxiliam os decisores a aperfeiçoar o entendimento de um problema e contribuem também para explicitar as preferências dos agentes que decidem em relação às alternativas.

Portanto, a AMD foi tema de diversas pesquisas [65, 67, 8, 50] e observa-se que a utilização de métodos multicritérios favorece para a eficiência da tomada de decisão por justificar os processos de decisão e por facilitarem o processamento mais veloz e automatizado das diversas informações a serem processadas.

No próximo Capítulo será apresentada uma revisão conceitual sobre o método TODIM-FSE, um exemplo de MCDM, identificando as principais razões pela escolha deste método para o problema de classificação de BLB.

Capítulo 4

Tomada de Decisão Interativa Multi-critério - Fuzzy Synthetic Evaluation (TODIM-FSE)

Dada a complexidade da tarefa de definir o local que melhor atenda às necessidades considerando a escassez dos recursos, apresenta-se uma metodologia que favorece a escolha oportuna diante das diversas variáveis existentes para o desdobramento logístico-operacional de uma tropa.

O método TODIM-FSE [59] é uma metodologia de apoio à decisão multicritério de classificação de alternativas discretas que utiliza como referência o método TODIM [39, 38, 37, 66], fundamentado na *Prospect Theory* [44], e na Avaliação Sintética *Fuzzy* [52, 57, 21]; [72, 49, 9].

O método TODIM, conforme os autores [37], é um método multicritério de ordenação de alternativas sedimentado na literatura científica. Segundo [59], o método FSE apesar de não ser conhecido como um método multicritério já foi utilizado desta forma.

O TODIM-FSE vem contribuir como uma opção para as aplicações típicas de classificação de alternativas utilizando múltiplos critérios. Este método se baseia na *Prospect Theory*, pertencente ao campo da psicologia cognitiva, que versa sobre a maneira como os seres humanos tomam decisões em situações que envolvem riscos. Contextualizando para o ambiente militar, poder-se-ia dizer que nas situações que envolvem ganhos, os militares costumam ser mais conservadores em relação ao risco e, em situações que envolvem perdas, serão mais propensos ao risco. Isto é, quando se estabelece uma situação em que se pode ganhar, preferem um ganho menor, porém certo, a se arriscar por ganhos maiores e incertos. Em situações que envolvem perdas, o chefe ou grupo militar prefere se arriscar a

perder mais, porém, com a possibilidade de nada perder, a ter uma perda menor, porém, certa. Adicionalmente, foi percebido que as situações envolvendo perdas costumavam ser muito mais relevantes e impactantes que situações envolvendo ganhos.

A Figura 4.1 apresenta a função de valor que ilustra o comportamento descrito no parágrafo anterior, que é relevante para entender as equações utilizadas no método TODIM-FSE.

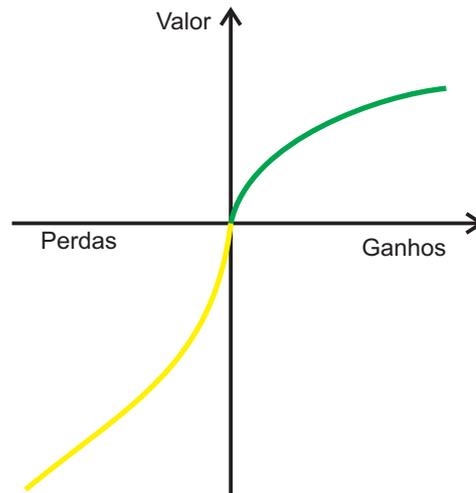


Figura 4.1: Função de Valor da Teoria dos Prospectos.
Fonte: adaptado de [44].

A Teoria dos Prospectos utiliza a função de valor para explicar a aversão e a propensão ao risco. Esta função tem a forma de “S”, representada na Figura 4.1. Acima do eixo horizontal, considerado como referência desta análise, tem-se uma curva côncava representando os ganhos, e, abaixo do eixo horizontal, tem-se uma curva convexa representando as perdas. A parte côncava reflete a aversão ao risco em face aos ganhos, e a parte convexa, por sua vez, simboliza a propensão ao risco, quando se trata de perdas.

A autora [28] esclarece que embora o artigo de [44] tenha se voltado mais para resultados monetários, seus autores argumentam que esta teoria poderia ser aplicada também a escolhas que envolvam outros atributos, como a qualidade de vida ou número de vidas que poderiam ser salvas ou perdidas como consequência da adoção de decisões sobre determinadas políticas e diretrizes de ação. Apresenta um exemplo que ilustra esta questão: "Imagine que você seja o comandante de um exército, ameaçado por uma força inimiga superior. Você é informado de que sua tropa será vítima de uma emboscada e de que seiscentos homens poderão morrer, a não ser que você os conduza a um lugar seguro, tomando uma de duas rotas possíveis. Se você escolher a rota A, duzentos soldados serão salvos. Se você escolher a rota B, há uma chance de 30% de que seiscentos soldados sejam

salvos e de 70% de que nenhum deles seja salvo. Que rota você escolheria?"E depois: "Imagine mais uma vez que você seja o comandante de um exército, ameaçado por forças inimigas superiores. De novo, você é informado de que, se escolher a rota A, quatrocentos soldados morrerão. Se escolher a rota B, há uma chance de 30% de que nenhum soldado morra, e de 70% de que seiscentos soldados morram. Qual rota você escolheria?"Em geral, as pessoas costumam escolher A, no primeiro caso, e B, no segundo. Olhando mais detidamente, é possível perceber que não há diferença alguma entre os dois cenários descritos - exceto pela ênfase sobre vidas salvas ou perdidas em cada um dos casos - e é justamente isto que induz a respostas diferentes para ele.

4.1 Motivos para Aplicação do TODIM-FSE no Caso de BLB

Para a logística militar, a tomada de decisão é realizada num ambiente em que as circunstâncias mudam muito rapidamente, a incerteza, normalmente, é elevada e existem múltiplos critérios complexos que afetam a decisão. Os tomadores de decisão, pressionado por fatores diversos, tem que fazer a decisão certa no momento certo. É nesse contexto que, por ocasião do planejamento e do estudo de situação logística, especialmente na escolha de áreas a serem ocupadas por bases logísticas, o decisor carece de um instrumento que permita aglomerar as informações heterogêneas evitando o indesejável empirismo.

A metodologia AMD facilita sobremaneira a compreensão do contexto decisório, o que facilita a escolha oportuna de uma BLB que atenda aos fatores da doutrina militar. O método TODIM-FSE considera além de aspectos quantitativos, baseados em conjuntos *fuzzy*, aspectos qualitativos, que não menos importantes que os anteriores, traduzem o ambiente nebuloso que via de regra não é internalizada na categorização de candidatas à base logísticas.

Conclui-se que o uso do TODIM-FSE, um dos métodos de multicritérios de tomada de decisão, proporcionará um benefício importante na fase de comparar e contrastar os fatores e subfatores previstos na logística militar terrestre.

4.2 Método TODIM-FSE e sua Base Teórica

Os Métodos Interativos constituem um modelo híbrido que englobam características das duas metodologias apresentadas anteriormente, Teoria da Utilidade Multiatributo e

Métodos de Sobreclassificação. A seguir, serão descritos alguns aspectos relevantes do Método TODIM de autoria dos pesquisadores [37] e do Método FSE de acordo com o esclarecimento dos autores [59].

4.2.1 Tomada de Decisão Interativa e Multicritério (TODIM)

Este método é também muito utilizado como ferramenta de Apoio Multicritério à Decisão [36, 37]. Apresenta características de um modelo híbrido que relaciona procedimentos das duas metodologias citadas anteriormente. Ele tem a diferença de buscar a modelagem dos padrões de preferência quando são tomadas decisões de risco, utilizando-se da Teoria da Prospectiva [44].

A Tomada de Decisão Interativa Multicritério (TODIM), baseando-se na Teoria da Prospectiva, persegue o objetivo de modelar os padrões de preferência do decisor quando decisões de risco são tomadas. O método permite que se trabalhe com critérios tanto qualitativos quanto quantitativos e possui um grau de inteligibilidade satisfatório comparativamente com outros métodos discretos [35].

O método considera o conjunto das n alternativas a serem ordenadas na presença de m critérios, que podem ser do tipo quantitativos e qualitativos. Enquanto que as valorações das alternativas relativamente aos critérios quantitativos são obtidas através de alguma medida, as valorações das alternativas qualitativas devem ser obtidas por meio de julgamentos de valor lidos em uma escala cardinal ou em uma escala verbal. Estas escalas são empregadas para ordenar alternativas em relação aos critérios e também para ponderação dos critérios. Fazendo uso das escalas verbais, os julgamentos de valor são convertidos em valores numéricos, oriundos de uma escala cardinal correspondente. As leituras realizadas nas escalas são normalizadas dividindo-se cada valor pelo maior valor ao longo de cada coluna da matriz de ALTERNATIVAS X CRITÉRIOS.

A importância dos critérios, ou seja, seus pesos estabelecidos, são então normalizados dividindo-se cada peso pelo maior deles. Para cada um dos critérios qualitativos c , um decisor especialista deverá estimar a contribuição de cada alternativa i associado ao critério c . A partir desses valores determinados estabelece-se o peso w_{ic} como sendo uma estimativa da contribuição da alternativa i à maximização do critério c . Esta estimativa é expressa através de um peso numa escala cardinal ou por meio de uma leitura na escala verbal correspondente [30].

No contexto multicritério, as perdas e ganhos são definidos como diferenças entre

os pesos das alternativas em termos de um critério particular. Cada alternativa será considerada como *status quo* atual a partir da qual são percebidas as perdas e ganhos. Utiliza-se, em seguida, uma função de diferença aditiva para se determinar a dominância de uma alternativa sobre outra. Para o cálculo desta função de diferença aditiva utiliza-se matrizes de dominâncias parciais, $\theta_c(i, j)$, determinadas, por sua vez, da matriz original dos pesos das alternativas segundo os critérios de avaliação. Os valores das matrizes de dominâncias parciais (uma para cada critério) representam a contribuição do critério c na função de diferença aditiva, quando se compara a alternativa i com a alternativa j .

Após o cálculo das diversas matrizes de dominâncias parciais, obtém-se a matriz de dominância final, $\delta(i, j)$, através da soma dos elementos das diversas matrizes de dominância parcial. Os valores $\delta(i, j)$ da matriz de dominância final serão utilizados na determinação do valor total de cada alternativa. Este valor, chamado de ξ_i , é determinado pela diferença entre o somatório dos valores $\delta(i, j)$ daquela alternativa em relação a todas as outras alternativas subtraído do menor valor de $\delta(i, j)$ daquela alternativa. Esse valor em seguida deverá ser normalizado dividindo-o pela diferença entre o máximo e o mínimo valores $\delta(i, j)$ da alternativa em questão. Os valores ξ_i , um para cada alternativa é que definirão a ordenação das diversas alternativas em questão.

Desta forma, o TODIM determina, a partir das preferências expressas por um conjunto de agentes de decisão, uma ação ao priorizar todas as alternativas. Mudando-se tal conjunto de preferências, pode-se conseguir um novo resultado. Assim, esse é um método matemático que busca refletir em seus resultados as preferências dos agentes de decisão que conhecem, segundo diferentes pontos de vista, as múltiplas dimensões do problema analisado [35].

Portanto, pode-se identificar, de forma geral, com esta descrição sucinta anteriormente apresentada do método TODIM, parte do procedimento que deverá ser adotado quando da implementação do método TODIM-FSE.

4.2.2 Conjuntos *fuzzy* e Números *fuzzy*

Outro assunto integrante do método TODIM-FSE é a parte relativa à *Fuzzy Synthetic Evaluation*, que se relaciona com os fundamentos da teoria de conjuntos *fuzzy* introduzida por Lofti Zadeh [88]. Esta teoria, entre outros objetivos, empreende no sentido de conciliar modelagem matemática e conhecimento humano. Várias pesquisas e trabalhos têm sido executados com base no conceito de conjuntos *fuzzy* e as aplicações são encontradas em diversas áreas do saber e em muitos contextos, incluindo a área militar.

Os autores [22, 84] esclarecem que a lógica *fuzzy* está vocacionada para a manipulação de conceitos mal definidos utilizando-se de variáveis linguísticas no lugar de variáveis numéricas. E outro equívoco comum sobre os modelos *fuzzy* tem sido a de que eles oferecem uma substituição aos modelos baseados em lógica formal, ou probabilísticos. De fato, todo conjunto “crisp”, ou seja, conjunto clássico, está contido em um *fuzzy*, mas não o inverso. Conforme os autores [42], um conjunto clássico, na linguagem *fuzzy*, costuma ser denominado conjunto crisp e entende-se pela terminologia conjunto crisp como sendo um conjunto de valores exatos.

Assim, a introdução do uso da lógica *fuzzy* permite ao modelo a utilização simultânea de variáveis qualitativas e quantitativas sendo capaz de gerar resultados quantitativos a partir de dados qualitativos. Quanto maior a complexidade de um sistema, maior é a eficiência de um sistema em lógica *fuzzy*, em detrimento de outros métodos que não podem ser modelados a partir de informações imprecisas ou ambíguas. Isso permite considerar que a utilização da lógica nebulosa associada a solução de problemas militares, especialmente os de demandas logísticas, sugere ser apropriado, já que durante o processo decisório do comandante militar é normal a existência de dados dúbios.

A lógica *fuzzy* permite a definição de valores intermediários entre avaliações tradicionais, como verdadeiro/falso, sim/não, alto/baixo, etc. Estes valores intermediários podem ser matematicamente formulados e processados por computadores. A modelagem *fuzzy* considera o modo como a falta de exatidão e a incerteza são descritas e, fazendo isso, torna-se suficientemente adequada para manipular de maneira conveniente o conhecimento [86].

A teoria dos conjuntos *fuzzy* e números *fuzzy* serão apresentados e busca-se evidenciar somente o necessário para o entendimento da teoria básica de conjuntos e lógica *fuzzy* visando sua aplicação no método TODIM-FSE.

Na teoria dos conjuntos clássicos verifica-se que a função de inclusão indica se um determinado elemento pertence ou não a um dado conjunto. Já na teoria dos conjuntos *fuzzy*, a ideia da função de inclusão é flexibilizada, a qual indica que um determinado elemento pertence mais ao conjunto do que outros elementos pertencentes ao mesmo conjunto, ou seja, os elementos podem então pertencer parcialmente ao conjunto. Um conjunto *fuzzy*, então, é um conjunto que contém elementos que têm diferentes graus de pertinência ao conjunto. Para a formalização dos conceitos da teoria dos conjuntos *fuzzy* serão consideradas as seguintes definições [4, 86, 48]:

Definição 1: Conjunto *fuzzy*. Seja X o conjunto universo. Um conjunto *fuzzy* F ,

Equação (4.1), é um subconjunto de X , definido como um conjunto de pares ordenados, tal que:

$$F = \{(x, \mu_F(x)) | x \in X\}, \quad (4.1)$$

Em que $\mu_F(x)$ é chamada de função de pertinência ou função característica do conjunto F , conforme a Equação (4.2). Formalmente tem-se:

$$\mu_F(x) : X \rightarrow \{[0; 1]; x \in X\}, \quad (4.2)$$

$\mu_F(x)$ retorna o grau de pertinência (que varia entre 0 e 1) do elemento x , pertencente ao universo de discurso X , em relação ao conjunto *fuzzy* F .

Definição 2: Conjunto *fuzzy* normalizado. É o conjunto em que pelo menos um de seus elementos possui grau de pertinência igual a 1. A Figura 4.2 ilustra um gráfico do conjunto *fuzzy* normalizado (Figura 4.2a) e um gráfico do conjunto *fuzzy* não normalizado (Figura 4.2b).

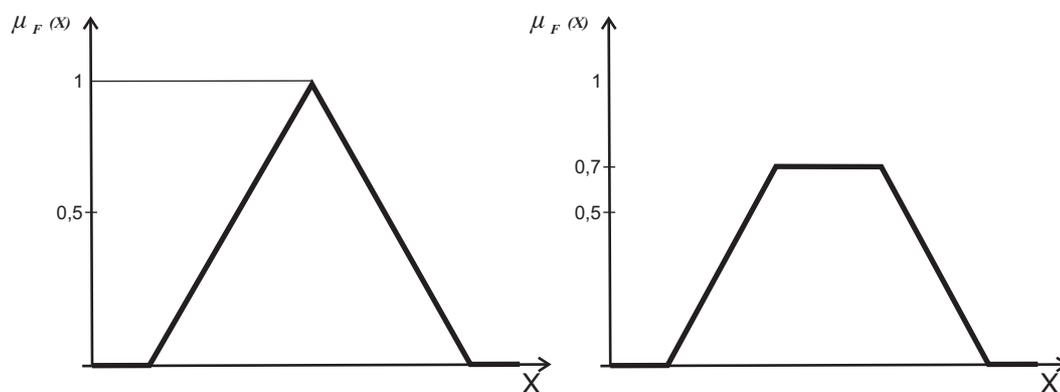


Figura 4.2: (a) Conjunto *fuzzy* normalizado (b) Conjunto *fuzzy* não normalizado.

Definição 3: Altura de um conjunto *fuzzy*. Corresponde ao maior grau de pertinência assumido por um dos elementos do conjunto *fuzzy*, Equação (4.3) ou seja:

$$altura(F) = \max(\mu_F(x_i)), x_i \in X, \quad (4.3)$$

Definição 4: Suporte de um conjunto *fuzzy*. O suporte de um conjunto *fuzzy* é um subconjunto de F , Equação (4.4), que possui elementos com graus de pertinência não

nulos, ou seja:

$$\text{suporte}(F) = \{x \in X | \mu_F(x) > 0\}, \quad (4.4)$$

Para o conjunto *fuzzy* representado na Figura 4.3, exemplifica-se um suporte, $\text{suporte}(F) = \{x \in F | 2 < x < 7\}$, relativo a definição 4.

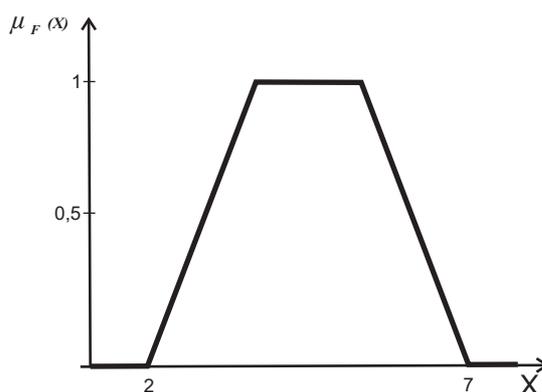


Figura 4.3: Conjunto fuzzy, com $\text{suporte}(F)$.

Os conjuntos *fuzzy* são constituídos por números *fuzzy*, definidos em universos discretos ou contínuo, permitem a quantificação da incerteza associada a uma dada informação. Assim a representação de grandezas associadas às declarações do tipo “perto de 100 km”, “aproximadamente 10 metros”, “em torno de 60 centímetros” podem ser mapeadas por meio de números *fuzzy*.

Em muitos casos práticos os números *fuzzy* podem ser representados por funções parametrizadas. A seguir são dadas as definições para as mais comuns [82].

Definição 5: Um número *fuzzy* A , conforme apresentado pela Equação (4.5), é dito triangular se a sua função de pertinência é da forma:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x < a \\ \frac{x-a}{m-a}, & \text{se } x \in [a, m] \\ \frac{b-x}{b-m}, & \text{se } x \in]m, b] \\ 0, & \text{se } x > b \end{cases} \quad (4.5)$$

O gráfico da função de pertinência de um número *fuzzy* triangular, Figura 4.4, tem a forma de um triângulo, que tem como base o intervalo $[a, b]$ e, como único vértice fora

desta base, o ponto $(m, 1)$.

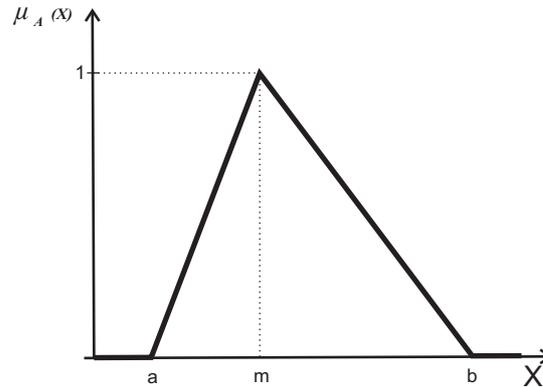


Figura 4.4: Representação de um número *fuzzy* triangular.

Quando $m - a = b - m = \delta$, tem-se um número *fuzzy* triangular simétrico. Para este caso, tem-se a Equação (4.6):

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 - \frac{|x-m|}{\delta}, & \text{se } m - \delta < x \leq m + \delta \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (4.6)$$

O parâmetro δ controla a base do triângulo que representa o número *fuzzy* e é chamado de espalhamento do número *fuzzy*.

Definição 6: Um número *fuzzy* A é dito trapezoidal se a sua função de pertinência tem a forma de um trapézio, dada por Equação (4.7):

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x < a \\ \frac{x-a}{m-a}, & \text{se } x \in [a, m] \\ 1, & \text{se } x \in]m, n[\\ \frac{b-x}{b-n}, & \text{se } x \in [n, b] \\ 0, & \text{se } x > b \end{cases} \quad (4.7)$$

O gráfico da função de pertinência de um número *fuzzy* trapezoidal, Figura 4.5, tem a forma de um trapézio, que tem como base menor o intervalo $[m, n]$ e, base maior o intervalo $[a, b]$.

Definição 7: Um número *fuzzy* é dito gaussiano ou em forma de sino se a sua função de pertinência é dada pela Equação (4.8).

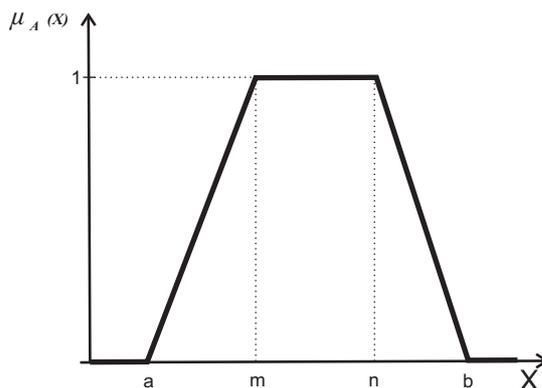


Figura 4.5: Representação de um número *fuzzy* trapezoidal.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} e\left(-\frac{x-m}{\sigma}\right), & \end{cases} \quad (4.8)$$

Sendo σ o desvio padrão. A Figura 4.6 ilustra a representação de um número *fuzzy* gaussiano.

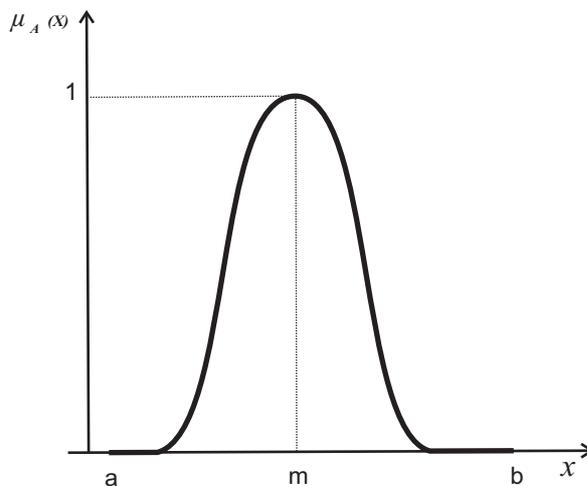


Figura 4.6: Representação de um número *fuzzy* gaussiano.

Definição 8: Um número *fuzzy* é dito sigmoide se a sua função de pertinência é dada pela Equação (4.9).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{1}{1 + e^{\left[\frac{-(x-m)}{\beta}\right]}}, & \end{cases} \quad (4.9)$$

Em que β é a inclinação da curva sigmoide. Um número *fuzzy* sigmoide pode ser representado conforme Figura 4.7.

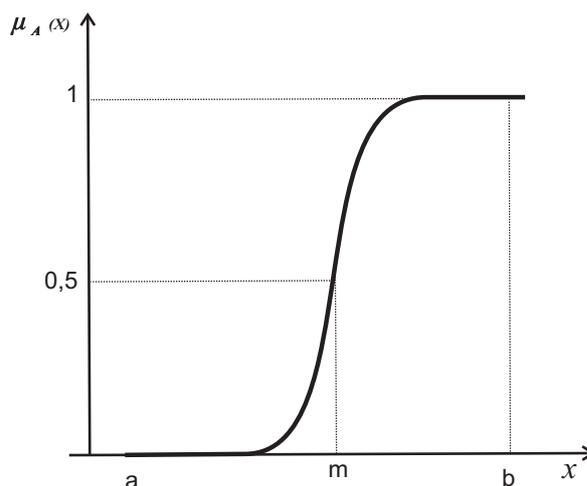


Figura 4.7: Representação de um número *fuzzy* sigmoideal.

O autor [11] refere que os modelos fuzzy também são aplicados em situações em que o decisor não apresenta a sua estrutura de preferências bem definida.

4.2.3 *Fuzzy Synthetic Evaluation*

O Método *Fuzzy* de Avaliação Sintética (FSE) é capaz de lidar com variáveis imprecisas, vagas e incertas. A álgebra linear do FSE é apresentada por [59, 49, 72], quando em uma estrutura de problema de AMD há a existência de subcritérios subordinados à critérios. Conforme esclarece o autor [9], o método FSE pode ser dividido numa série de etapas, como se segue:

1ª Etapa

Deve ser construído um indicador de avaliação conjunta conforme a Equação 4.10 e o elemento u_i definido pela Equação 4.11.

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}, \quad (4.10)$$

$$u_i = \{w_1, w_2, \dots, w_j\}, \quad (4.11)$$

Onde U é o indicador de avaliação conjunta dos critérios presentes na análise, u_i representa o i -ésimo indicador de avaliação, isto é, a importância do i -ésimo critério e/ou subcritério e n representa o número de elementos do vetor (número de critérios).

Assim, por exemplo, u_1 representa as importâncias dos critérios u_1 que são compostos pela importância de seus subcritérios (j).

2ª Etapa

É estabelecido o vetor de avaliação, Equação 4.12 e o elemento v_i definido pela Equação 4.13.

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}, \quad (4.12)$$

$$v_i = \{\theta_{11}, \theta_{12}, \dots, \theta_{ij}\}, \quad (4.13)$$

Em que V_n é um vetor de avaliação das alternativas, obtidos através de dados quantitativos (*fuzzy*) e qualitativos (tabelas de contribuições), conforme estabelecido pelos autores [59] e significa a importância de avaliação do i -ésimo critério de avaliação. Sendo que, em alguns critérios que possuam subcritérios, j -ésimo representa o número de subcritérios deste critério. E θ_{ij} são as contribuições de cada alternativas, para cada critério i ou subcritérios j .

3ª Etapa

É construída uma matriz global de avaliação dos vetores de avaliação estabelecidos na segunda etapa. Esta matriz \tilde{V} está representada na Equação 4.14.

$$\tilde{V} = \begin{bmatrix} \tilde{v}_1 \\ \tilde{v}_2 \\ \vdots \\ \tilde{v}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \cdots & \mu_{1m} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \cdots & \mu_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{n1} & \mu_{n2} & \cdots & \mu_{nm} \end{bmatrix}, \quad (4.14)$$

Sendo que μ representa o valor, ou seja, a importância da avaliação e m o número de alternativas avaliadas.

4ª Etapa

De acordo com a avaliação dos usuários da informação são definidas as Equações 4.15 e 4.16, que representam a matriz de indicador de avaliação oriunda da normalização,

$$\tilde{u}_i = \tilde{W} = \{\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_j\}, \quad (4.15)$$

$$\sum_{j=1}^n \tilde{w}_j = 1, \quad (4.16)$$

Em que \tilde{w}_j , representa o peso do j -ésimo indicador de avaliação, e j varia de 1 até n . Na Equação 4.15 utilizou-se o \tilde{W} para representar o \tilde{u}_i , para não sobrecarregar os índices das equações subsequentes.

5ª Etapa

Para construir o modelo de avaliação sintética procede-se a multiplicação entre as matrizes conforme a expressão da Equação 4.17,

$$\tilde{B} = \tilde{u}_i * \tilde{V}, \quad (4.17)$$

Assim, obtém-se a nova avaliação sintética através da Equação 4.18.

$$\tilde{B} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_j] \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \cdots & \mu_{1m} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \cdots & \mu_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{n1} & \mu_{n2} & \cdots & \mu_{nm} \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_n), \quad (4.18)$$

Após a normalização da matriz \tilde{B} , da Equação 4.18, obtém-se um novo vetor \tilde{B}' , representado pela Equação 4.20.

$$b'_j = \frac{b_j}{\sum_{j=1}^m b_j}, \quad (4.19)$$

$$\tilde{B}' = (b'_1, b'_2, \dots, b'_n), \quad (4.20)$$

6ª Etapa

Por fim, gera-se uma pontuação total para cada indicador de avaliação através da Equação 4.21,

$$S = \sum_{j=1}^m b'_j * v'_j, \quad (4.21)$$

Onde b'_j representa o j -ésimo vetor de peso da avaliação e v'_j significa o j -ésima avaliação numérica variável do vetor de avaliação V .

Na implementação do TODIM-FSE os autores [59] recomendam a utilização dos dados obtidos até a Equação 4.18.

Portanto, de acordo com a pontuação total FSE, pode-se realizar um julgamento, conforme detalha [59], para se obter uma classificação final.

4.2.4 Metodologia do TODIM-FSE

Citando os autores [59], para facilitar a compreensão e utilização do método ele será descrito em etapas seguindo o exemplo do pesquisador [40]. As fases abaixo não precisarão seguir rigorosamente a sequência proposta:

Fase 1: Definição dos decisores e analistas de decisão – Os tomadores de decisão são as pessoas que vão fazer julgamentos sobre o problema de decisão. Logo são eles que definirão os critérios a serem utilizados e serão deles os julgamentos (pesos dos critérios, avaliação das alternativas à luz dos critérios, entre outros). Já os analistas de decisão são os especialistas em processos de apoio à decisão e métodos e que darão suporte ao desenvolvimento do processo decisório.

Fase 2: Análise e estruturação do problema decisório – Nesta etapa é analisado o problema em questão e discutido minuciosamente, para que haja certeza de que o problema relevante está sendo abordado. É comum que problemas mal definidos levem a boas decisões para o problema errado. Com isso, todo o esforço empreendido torna-se inútil. Uma ampla quantidade de referências sobre o assunto pode ser encontrada na pesquisa do autor [6].

Fase 3: Definição dos critérios importantes para o problema – Nesta etapa a construção do modelo decisório é iniciada. Os critérios devem ser filtrados, fundidos ou eliminados de forma que sejam respeitadas as recomendações do autor [45] para a construção de um bom conjunto de critérios. Sendo desejáveis dos critérios selecionados as seguintes características: operacionalidade, decomponibilidade, tamanho mínimo, completude e não redundância.

Fase 4: Definição de categorias e funções de contribuição – Após definidos os critérios, o próximo passo é definir quantas categorias devem ser utilizadas no modelo.

Após definida a quantidade k de categorias deve ser estabelecida as contribuições μ que cada critério fornece para que uma alternativa se classifique dentro de determinada categoria. Os valores de contribuição deverão variar entre 0 (zero) e 1 (um) continuamente, sendo que o valor 1 (um) indica que o critério contribui ao máximo para que uma alternativa se classifique dentro de determinada categoria. O valor 0 (zero) indica que o critério não contribui para que a alternativa se classifique dentro de determinada categoria. Além disso, são permitidos valores intermediários de contribuição. É importante perceber a semelhança com o conceito de conjunto *fuzzy* [55].

Conforme citam os pesquisadores [59], o conceito de contribuição é inovador no sentido que está sendo dado neste método. Se o critério i for qualitativo, espera-se que a sua avaliação γ se dê através de uma escala com valores discretos. Para cada valor verbal da escala serão definidos valores de contribuição para cada uma das categorias na forma de tabelas de contribuição, conforme mostrado na Tabela 4.1.

Para cada possível avaliação γ_i atribuída para esse critério será definido um conjunto de contribuições, representado pela linha correspondente na Tabela 4.1.

Se o critério j for quantitativo ele poderá assumir valores contínuos. Neste caso as contribuições serão representadas através de funções de contribuição, que serão similares aos conjuntos *fuzzy*, na forma e na maneira de construção.

A Figura 4.8 ilustra um exemplo de funções de contribuição descritas com funções sigmoidais, para três categorias.

Tabela 4.1: Tabela de contribuições para o critério i , qualitativo

Avaliações	Categorias				
	Cat_1	Cat_2	.....	Cat_{k-1}	Cat_k
γ_1	μ_{11}	μ_{12}	.....	μ_{1k-1}	μ_{1k}
γ_2	μ_{21}	μ_{22}	.....	μ_{2k-1}	μ_{2k}
.....
γ_m	μ_{m1}	μ_{m2}	.....	μ_{mk-1}	μ_{mk}

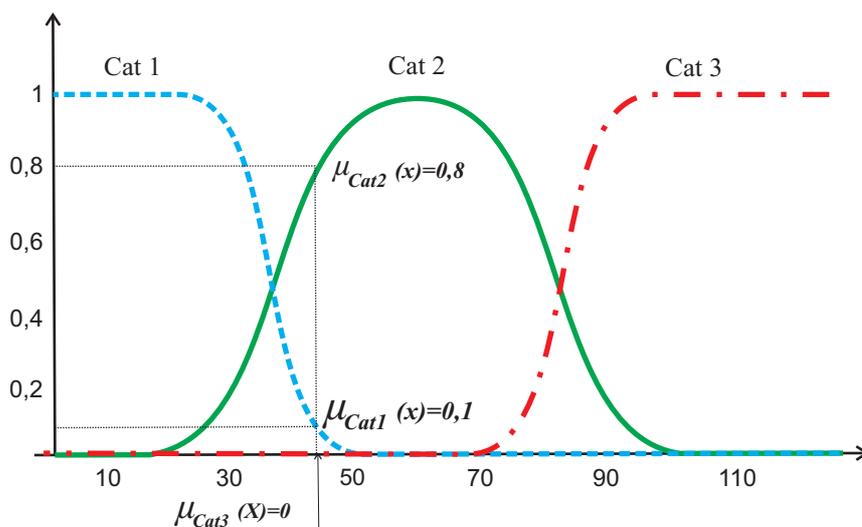


Figura 4.8: Funções de contribuições para o critério j , quantitativo, em problemas com três categorias

Após definidas as tabelas de contribuição ou funções de contribuição para cada critério será possível agrupar o primeiro conjunto de dados importante para o modelo, aqui chamado de “tabela de contribuições agrupadas dos critérios”, Tabela 4.2.

Cada linha da Tabela 4.2 é obtida a partir da avaliação realizada para a alternativa a luz de cada critério. Para os critérios qualitativos representam uma linha da Tabela 4.1. Para critérios quantitativos representam o valor da função de contribuição associado ao valor quantitativo atribuído para o critério j .

Tabela 4.2: Tabela de contribuições agrupadas dos critérios

Critérios	Categorias				
	Cat_1	Cat_2	.....	Cat_{k-1}	Cat_k
C_1	μ_{11}	μ_{12}	.....	μ_{1k-1}	μ_{1k}
C_2	μ_{21}	μ_{22}	.....	μ_{2k-1}	μ_{2k}
.....
C_m	μ_{m1}	μ_{m2}	.....	μ_{mk-1}	μ_{mk}

Fase 5: Definição da importância relativa entre os critérios – O segundo e último conjunto de dados importantes para o modelo é realizado nesta etapa de avaliação dos pesos dos critérios, procedendo ao preenchimento da matriz de comparações paritárias conforme o autor [71], onde nela são inseridos julgamentos extraídos da Escala Fundamental de Saaty, apresentada na Tabela 4.3.

Nesta etapa é muito importante a participação de especialistas, ou tomadores de decisão, com conhecimentos profundos da temática que permitam declarar realmente a importância, ou a força de suas preferências ou até mesmo a possibilidade real quanto aos

critérios ou alternativas em análise [43].

Tabela 4.3: Escala Fundamental de Saaty.

Fonte [71].

Escala Numérica	Escala Verbal	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação à outra.
5	Importância forte	A experiência ou juízo favorece fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito forte	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra.
9	Importância extrema	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de segurança.
2,4,6,8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições

Dessa matriz é obtido o vetor de pesos para cada critério existente no modelo planejado. Sendo que para retirar qualquer possível inconsistência existente nestes julgamentos paritários é utilizado o mesmo procedimento proposto no método TODIM. Portanto, com o vetor de pesos obtido é construída uma nova matriz.

E a partir desta matriz citada, é obtido um novo vetor de pesos. Cada uma de suas componentes é calculada através da média aritmética das linhas da matriz acima. Depois disso é feita a normalização de cada desses valores dividindo-os pela soma dessas médias. Esse procedimento é feito para evitar os problemas com o cálculo do autovetor da matriz, mencionados pelo autor [3]. O resultado é o vetor de pesos \tilde{u}_i , apresentando na Equação 4.15, cuja soma das componentes é igual a 1, indicado na Equação 4.16.

Fase 6: Classificação de cada alternativa em uma das categorias propostas - Definidos a tabela de contribuições agrupadas dos critérios, Tabela 4.2, e os pesos dos critérios, passa-se a utilizar os *trade-offs* embutidos nos pesos dos critérios para encontrar em qual categoria a alternativa possuirá a maior pontuação e, conseqüentemente, irá se enquadrar. Para tal serão utilizadas as equações do método TODIM.

Conforme o autor [35], são construídas n matrizes de dominâncias parciais Φ_c , uma para cada critério c . Os elementos de cada uma dessas matrizes serão dados pela Equação 4.22,

$$\Phi_c(cat_i, cat_j) = \begin{cases} \sqrt{\frac{w_{rc}(\mu_{ic} - \mu_{jc})}{\sum_{c=1}^n w_{rc}}}, & \text{se } \mu_{ic} - \mu_{jc} \geq 0 \\ -\frac{1}{\theta} \sqrt{\frac{\sum_{c=1}^n w_{rc}(\mu_{jc} - \mu_{ic})}{w_{rc}}}, & \text{se } \mu_{ic} - \mu_{jc} < 0 \end{cases} \quad (4.22)$$

Verifica-se que na Equação 4.22, que :

c é um critério qualquer, para $c = 1, \dots, n$.

w_{rc} uma taxa de substituição do critério c pelo critério r .

μ_{ic} e μ_{jc} representam pesos das alternativas i e j , respectivamente em relação ao critério c .

As diferenças $\mu_{ic} - \mu_{jc} > 0$ e $\mu_{ic} - \mu_{jc} < 0$ são consideradas como ganhos ou perdas associados à função de valor da Teoria dos Prospectos, conforme representado graficamente na Figura 4.1.

Se a diferença for positiva (representando ganho de dominância da categoria i frente à categoria j) o valor do elemento genérico a_{ij} da matriz Φ_c será dado pela primeira função da Equação 4.22, se a diferença for negativa (sugerindo perda de dominância da contribuição da categoria i frente à categoria j) o valor deste mesmo elemento a_{ij} será dado pela segunda função da Equação 4.22.

Os valores w_{rc} representam uma taxa de substituição, ou seja, o peso do critério c dividido pelo peso do critério de referência r . O valor θ é o fator de atenuação de perdas, que é utilizado na função de valor para dar um menor ou maior grau a esse tipo de perspectiva. Diferentes escolhas deste valor levam a diferentes formas da função de valor da Teoria dos Prospectos no quadrante negativo, Figura 4.1.

Assim, cada matriz Φ_c estará armazenando um conjunto de valores de dominância das categorias com relação a cada critério.

Depois de calculadas as matrizes de dominâncias parciais para cada critério será calculada a matriz de dominâncias Equação 4.23:

$$\delta(cat_i, cat_j) = \sum_{c=1}^n \Phi_c(cat_i, cat_j), \forall (i, j) \quad (4.23)$$

Da matriz formada pela Equação 4.23, tem-se que cada elemento soma todas as do-

minâncias obtidas anteriormente para cada critério. O resultado final será obtido com o cálculo do vetor X , que terá cada um de seus elementos calculados pela Equação 4.24:

$$\xi_i = \frac{\sum_{j=1}^k \delta(cat_i, cat_j) - \min \sum_{j=1}^k \delta(cat_i, cat_j)}{\max \sum_{j=1}^k \delta(cat_i, cat_j) - \min \sum_{j=1}^k \delta(cat_i, cat_j)}, \quad (4.24)$$

Ao ser calculado dessa forma, o vetor X possuirá sempre uma componente com valor 1, representando a categoria mais pertinente para a classificação, outro com valor 0 (zero), representando a categoria menos adequada para a classificação, e outros valores intermediários para as demais categorias.

Fase 7: Análise de sensibilidade - Esta etapa é fundamental para o estabelecimento de um modelo de apoio à decisão de qualidade. Na análise de validação, as alternativas previamente classificadas dentro de cada uma das categorias propostas serão usadas como referência para ajustar o modelo criado. Esses ajustes podem ser feitos nos pesos dos critérios, nas tabelas ou funções de contribuições.

Então, após a aplicação do método e obtenção do resultado final, é aconselhável a realização de uma análise de validação ou sensibilidade, que consiste na alteração dos parâmetros citados. Essa análise deve ser considerada nos métodos de AMD devido, entre outros, às incertezas dos cenários futuros e às implícitas pelo grupo de decisores.

A existência de incertezas e procedimentos para analisá-las são abordadas, entre outros assuntos, por pesquisadores como [38, 32, 33].

Portanto, neste Capítulo apresentou-se a base teórica do TODIM-FSE, método de apoio à decisão que trata de problemas com múltiplos fatores, sejam qualitativos ou quantitativos. Foi realizada uma revisão da teoria relativa a avaliação sintética *fuzzy* e do método multicritério TODIM. Com isso, verificou-se a pertinência do TODIM-FSE para apoiar a decisão, quando da existência de situações que envolvam informações e dados que contenham incertezas e riscos. Assim, o TODIM-FSE permite que grupos de especialistas participem ativamente do processo decisório e analisem características específicas do problema de decisão.

Capítulo 5

Aplicação do TODIM-FSE para Classificação de BLB

Para apresentar a implementação do TODIM-FSE, um estudo de caso de classificação da Base Logística de Brigada (BLB) foi executado, uma vez que realizou-se uma investigação descritiva baseada em análise documental e, também, em trabalho de campo. Desta forma, o objetivo desta avaliação foi apresentar uma classificação das áreas candidatas à BLB para o desdobramento de tropas de apoio logístico no terreno dentro da zona de combate.

Utilizando as informações levantadas pelo Estado Maior de um Comando Militar é feita a classificação dentro de uma entre cinco categorias: excelente, muito adequado, adequado, pouco adequado ou inadequado. O termo adequabilidade [12] será caracterizado para efetuar avaliação de candidatas à BLB utilizando quatro critérios e dezoito subcritérios preconizados na doutrina militar brasileira referente aos fatores: manobra, terreno, segurança e situação logística.

Os dados levantados foram obtidos através da coleta de informações de um Tema de estudo clássico da área de logística do EB, e ainda foram elaborados dois formulários, constantes dos Apêndices A, questionário para avaliação de critérios e subcritérios, e B, questionário para classificação de BLB. Além disso, neste último apêndice citado, os especialistas avaliaram as escolhas das BLB's conforme suas experiências e seus conhecimentos profissionais, utilizando-se para tanto a Tabela B1, do Apêndice B, para obtenção dessas informações.

5.1 Aplicação do Método TODIM-FSE em Estudo de Caso (Tema CARAZINHO)

Utilizou-se neste estudo de caso, um tema clássico de operação militar da disciplina Organização e Emprego da Arma, do Curso de Intendência, da Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais, Rio de Janeiro. No tema citado, inseriu-se, também, condicionantes e aspectos hipotéticos para melhor representar a situação a ser estudada, baseando-se geralmente nos dados médios de planejamento, documento conhecido por DAMEPLAN [15]. A operação é do tipo defensiva e o Plano de Operações CRUZEIRO DO SUL da Força Terrestre Componente (FTC) FLECHA, em sua 1ª fase, determina à 12ª Divisão de Exército (41ª Brigada de Infantaria Blindada, 55ª, 56ª, 57ª e 58ª Brigadas de Infantaria Motorizadas) que conduza a defesa de área, no corte do Rio JACUÍ, na zona de ação principal da posição defensiva da FTC.

A manobra considerada é relativa ao desdobramento da 56ª Brigada de Infantaria Motorizada, que possui enquadrado o 55º Batalhão Logístico. Este Batalhão ocupará, após o estudo de situação tático, um local no terreno que atenda às múltiplas demandas.

O problema consiste então no levantamento de BLB's que possam atender aos requisitos de adequabilidade desejáveis para o cumprimento da missão de apoio logístico da operação militar. O estudo da definição dos locais a serem ocupados pela BLB pode ser realizado na carta e é desejável a sua ratificação/retificação com o reconhecimento *in locu* no terreno. Esse procedimento é realizado para garantir a exequibilidade do planejamento e minimizar as limitações decorrentes.

Após processado esta etapa, o decisor final, normalmente o Comandante da Brigada, aprovará o plano logístico que constará em calco de operações a área da BLB a ser mobiliada e gerida pela tropa de apoio logístico.

No tema em estudo deseja-se uma Base Logística de Brigada que ocupe uma área com dimensões médias de 6 a 9 km^2 . As alternativas estão limitadas a 4 possíveis áreas de BLB dentro da Zona de Combate (ZC).

Dada a possibilidade da força oponente, a distância mínima de segurança é de 21 km da Linha Limite Anterior da Área de Defesa Avançada (LAADA). Na Figura 5.1 e Figura 5.2, observa-se as possíveis bases logísticas de brigada que representam as alternativas a serem escolhida: BLB_1 , BLB_2 , BLB_3 , BLB_4 .

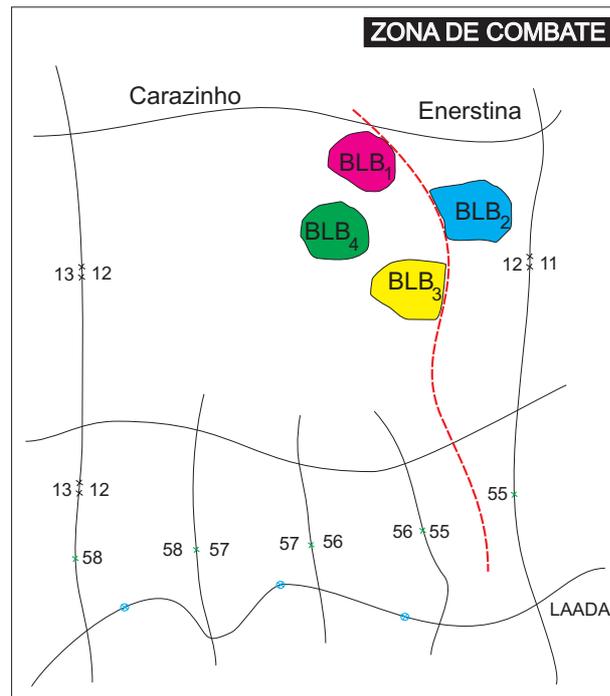


Figura 5.1: Extrato adaptado de Operação Defensiva da 12^a Divisão de Exército (DE), indicando os limites entre DE e entre as Brigadas Militares e apresenta a localização geral da BLB₁, BLB₂, BLB₃ e BLB₄, candidatas à Base Logística de Brigada da 55^a Bda Inf Mtz. Fonte: o autor

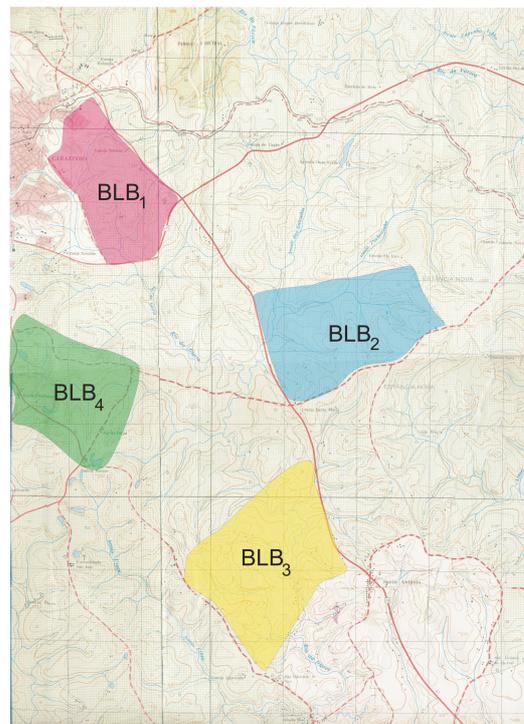


Figura 5.2: Extrato adaptado de Operação Defensiva da 12^a Divisão de Exército (Fonte: Carta topográfica – Crt Carazinho/Enerstina– IBGE, 1^a impressão, 1979, Escala 1:50.000)

FASE 1 - Definição dos Tomadores de Decisão e Analistas de Decisão

Os tomadores de decisão serão os membros do Estado Maior (EM) de Organização Militar (OM) valor Divisão de Exército/Brigada e os analistas de decisão são: o autor desta dissertação e oficiais de logística, Serviço de Intendência e Quadro de Material Bélico, do Exército Brasileiro.

FASE 2 - Análise e Estruturação do Problema Decisório

Para clareza do trabalho, os membros do EM tem noção do processo decisório proposto e do tipo de resultado que será fornecido, para enfim servir de base e apoio a decisão final. Por outro lado, os membros do EM, em especial o Comandante Tático, o Oficial de Operações (E3) e o Oficial de Logística (E4) fornecem detalhes da operação a fim de proporcionar aos analistas ajustes finos no algoritmo a ser executado. Com isso, o problema tende a ficar mais claro para tomadores de decisão e para os analistas de decisão, dando mais transparência e objetividade para o processo de avaliação.

FASE 3 - Definição dos critérios importantes para o problema

Nesta etapa a construção do modelo decisório é iniciada. Os critérios que serão levados em consideração para a classificação das alternativas são os constantes na doutrina militar do EB, que estão em vigor. Os critérios foram filtrados, fundidos ou eliminados de forma que se considerou as recomendações de [45] para a construção de um bom conjunto de critérios. Assim, o conjunto de critérios e subcritérios escolhidos possuem as características básicas de não redundância.

Na Tabela 5.1, constam os critérios, discriminados por tipo, que foram definidos de acordo com a doutrina, militar terrestre brasileira em vigor, conforme consta no documento da referência [13].

Tabela 5.1: Tabela de Critérios/Subcritérios quantitativos e qualitativos, onde da notação SC_{ij} , i representa critério e j indica o subcritério.

Quantitativos
SC_{11} -Manobra / Apoio cerrado
SC_{12} -Manobra / Distância máxima de apoio
SC_{33} -Segurança / Segurança das Instalações – Dispersão e apoio mútuo
SC_{34} -Segurança / Segurança das Instalações – Proximidade de tropa amiga*
SC_{35} -Segurança / Segurança das Instalações – Distância de segurança
SC_{41} -Situação Logística / Localização atual das instalações de apoio logístico do Escalão Superior*
Qualitativos
SC_{13} -Manobra / Favorecimento do esforço da ação tática
SC_{14} -Manobra / Continuidade do apoio
SC_{15} -Manobra / Interferência com a Manobra
SC_{21} -Terreno / Existência de água
SC_{22} -Terreno / Rede rodoviária compatível – Circulação interna
SC_{23} -Terreno / Existência de construções
SC_{24} -Terreno / Cobertas e abrigos
SC_{25} -Terreno / Obstáculo no interior da área
SC_{26} -Terreno / Consistência do solo
SC_{31} -Segurança / Segurança de fluxo
SC_{32} -Segurança / Segurança das Instalações – Facilidade para defesa
SC_{36} -Segurança / Segurança das Instalações – Flancos expostos ou protegidos

* será tratado como qualitativo, haja vista a dificuldade de quantificar em termos de números *fuzzy*.

Registra-se que os dados quantitativos, são baseados em dados médios contidos no documento DAMEPLAN [15]. Outro aspecto relevante é que o critério segurança, subcritério distância de segurança é impositivo, ou seja, a instalação de BLB na ZC deve rigorosamente depender do poder de alcance da artilharia inimiga. No estudo em questão, Tema Carazinho, a distância mínima de segurança é de 21 km, contado a partir da linha limite anterior da área de defesa avançada (LAADA), no caso da operação defensiva.

FASE 4 - Definição de Categorias e Funções de Contribuições

Para este problema foram definidas cinco categorias de avaliação, a saber: Excelente (E), Muito Adequado (MA), Adequado (A), Pouco Adequado (PA), Inadequado (I).

Assim a partir dessas categorias são definidas as contribuições que serão dadas a cada um dos critérios.

Desta forma, são definidas para estes critérios funções de contribuição, conforme apresentado nas Figuras 5.3 a 5.7.

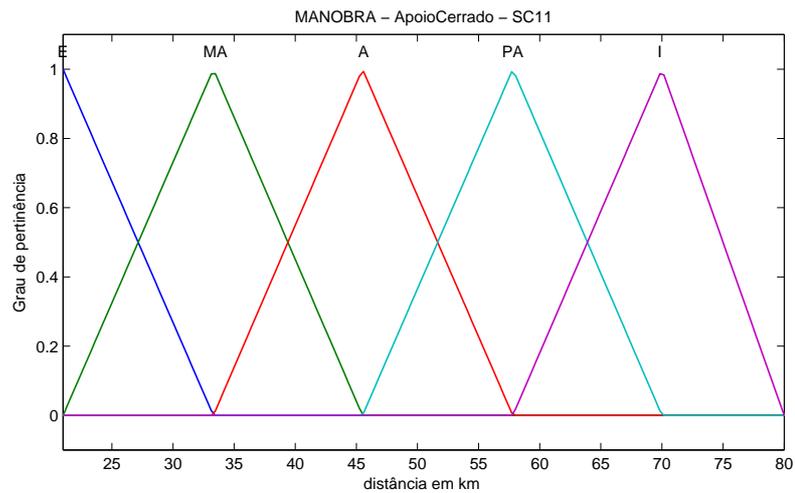


Figura 5.3: Função de Contribuição – MANOBRA – Apoio Cerrado (SC_{11})

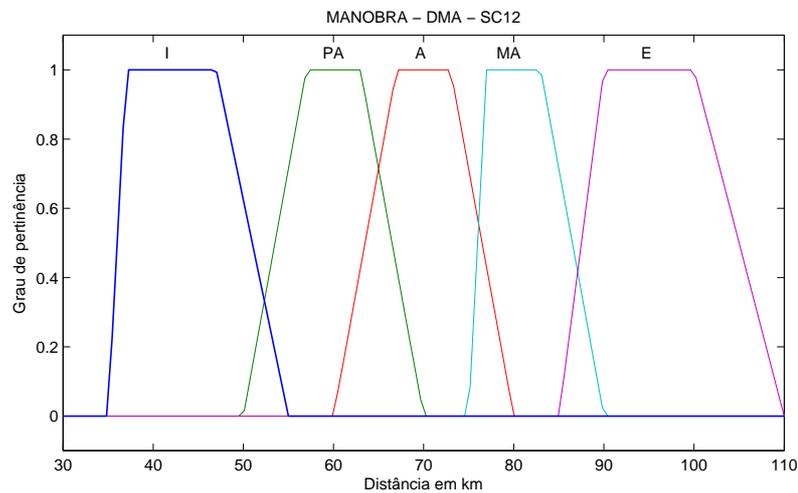


Figura 5.4: Função de Contribuição – MANOBRA – Distância Máxima de Apoio (SC_{12})

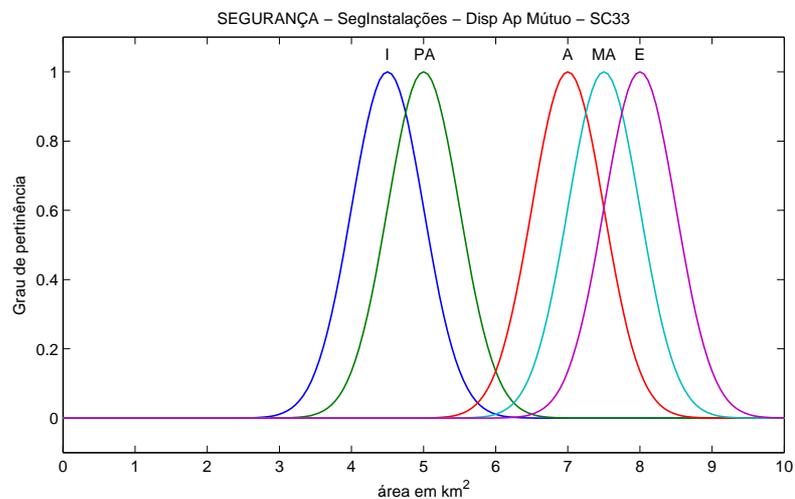


Figura 5.5: Função de Contribuição – SEGURANÇA – Seg. das Instalações – Dispersão e Apoio Mútuo (SC_{33})

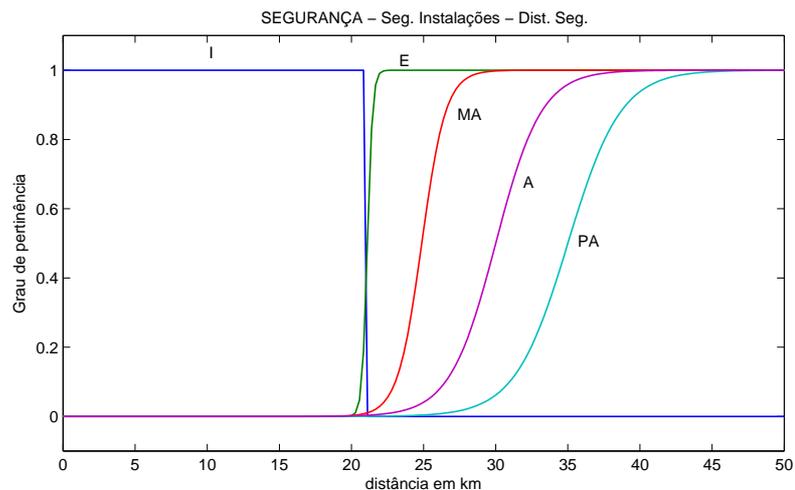


Figura 5.6: Função de Contribuição – SEGURANÇA – Seg. das Instalações – Distância de Segurança (SC_{35})

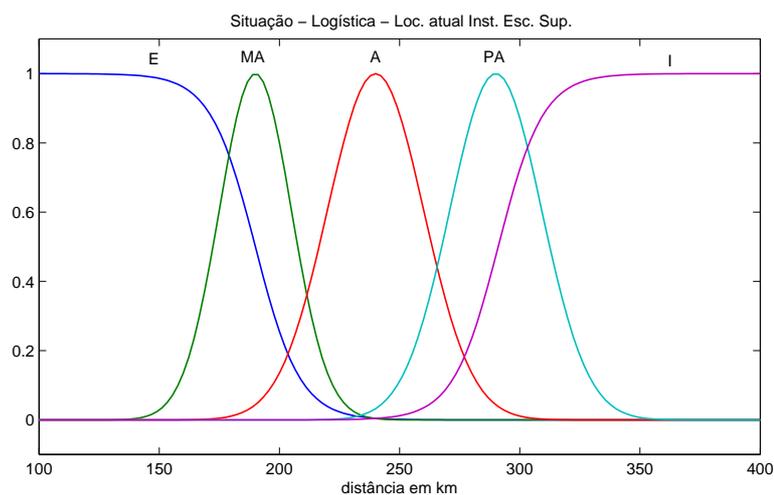


Figura 5.7: Função de Contribuição – SITUAÇÃO LOGÍSTICA – Localização atual das instalações de apoio logística do escalão superior (SC_{41})

Quanto aos critérios qualitativos, para eles são definidas tabelas de contribuições, conforme Tabelas 5.2 a 5.15. Assim, partindo das análises dos oficiais auxiliares do EM especial é possível identificar e avaliar se a área atende aos quesitos/fatores para seleção.

Na Tabela 5.2, bem como nas demais tabelas de contribuições, apresenta-se um campo de avaliação, designado pelos tomadores de decisão e ou analistas de decisão, que indica uma proporção da respectiva avaliação para se enquadrar em uma determinada categoria. Se, por exemplo, foi avaliado que o esforço é totalmente eixado, isto representa uma contribuição de 100% para categoria excelente, 90% para muito adequado, 50% para adequado, 30% para pouco adequado e nulo para inadequado.

Tabela 5.2: Tabela de Contribuições para o critério Manobra – Favorecimento do esforço da ação tática – SC₁₃.

Escala de Avaliação	Categorias				
	E	MA	A	PA	I
Esforço totalmente eixado	1,0	0,9	0,5	0,3	0,0
Esforço eixado parcialmente	0,5	0,7	0,8	0,5	0,3
Esforço pouco eixado	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0

Tabela 5.3: Tabela de Contribuições para o critério Manobra – Continuidade do apoio – SC₁₄

Escala de Avaliação	Categorias				
	E	MA	A	PA	I
Permite grande continuidade	1,0	0,9	0,7	0,0	0,0
Permite média continuidade	0,8	1,0	0,8	0,6	0,4
Permite pequena continuidade	0,4	0,5	0,6	1,0	0,7
Não permite continuidade	0,0	0,4	0,5	0,9	1,0

Tabela 5.4: Tabela de Contribuições para o critério Manobra – Interferência com a Manobra – SC₁₅

Escala de Avaliação	Categorias				
	E	MA	A	PA	I
Grande interferência	0,0	0,1	0,2	0,3	0,3
Pouca interferência	0,5	0,7	0,9	1,0	0,8
Inexistência de interferência	1,0	0,8	0,6	0,5	0,0

Tabela 5.5: Tabela de Contribuições para o critério Terreno – Existência de Água – SC₂₁

Escala de Avaliação	Categorias				
	E	MA	A	PA	I
Local com Água em abundância	1,0	0,9	0,7	0,2	0,0
Local com Água suficiente	0,8	1,0	0,5	0,3	0,1
Local com Restrição de Água	0,2	0,5	0,7	1,0	0,8

Tabela 5.6: Tabela de Contribuições para o critério Terreno – Rede rodoviária compatível – circulação interna – SC₂₂

Escala de Avaliação	Categorias				
	E	MA	A	PA	I
Capacidade de Tráfego excelente	1,0	0,9	0,5	0,3	0,0
Capacidade de Tráfego normal	0,5	0,7	1,0	0,2	0,1
Capacidade de Tráfego deficiente	0,2	0,5	0,7	1,0	0,5

Tabela 5.7: Tabela de Contribuições para o critério Terreno – Existência de construções – SC₂₃

Escala de Avaliação	Categorias				
	E	MA	A	PA	I
Muitas construções aproveitáveis	1,0	0,9	0,8	0,3	0,0
Poucas construções aproveitáveis	0,3	0,7	1,0	0,5	0,2
Sem construções aproveitáveis	0,0	0,1	0,2	0,7	0,9

Tabela 5.8: Tabela de Contribuições para o critério Terreno – Cobertas e abrigos – SC₂₄

Escala de Avaliação	Categorias				
	E	MA	A	PA	I
Grande número de cobertas e abrigos	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4
Médio número de cobertas e abrigos	0,8	0,7	1,0	0,6	0,3
Pouco número de cobertas e abrigos	0,1	0,2	0,4	0,5	0,8
Sem cobertas e abrigos	0,0	0,0	0,1	0,5	0,9

Tabela 5.9: Tabela de Contribuições para o critério Terreno – Obstáculos no interior da área – SC₂₅

Escala de Avaliação	Categorias				
	E	MA	A	PA	I
Grande número de obstáculos	0,0	0,1	0,2	0,7	1,0
Médio número de obstáculos	0,1	0,3	0,7	1,0	0,9
Pouco número de obstáculos	0,1	0,4	1,0	0,8	0,6
Sem obstáculos	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6

Tabela 5.10: Tabela de Contribuições para o critério Terreno – Consistência do solo – SC₂₆

Escala de Avaliação	Categorias				
	E	MA	A	PA	I
Grande consistência	1,0	0,8	0,6	0,5	0,2
Média consistência	0,8	0,7	1,0	0,6	0,3
Pequena consistência	0,1	0,2	0,4	1,0	0,8
Consistência insuficiente	0,0	0,0	0,1	0,5	1,0

Tabela 5.11: Tabela de Contribuições para o critério Segurança – Segurança de fluxo – SC₃₁

Escala de Avaliação	Categorias				
	E	MA	A	PA	I
Segurança de fluxo ótima	1,0	0,8	0,7	0,4	0,1
Segurança de fluxo normal	0,5	0,7	1,0	0,4	0,2
Segurança de fluxo precária	0,1	0,3	0,7	1,0	0,6

Tabela 5.12: Tabela de Contribuições para o critério Segurança – Segurança das Instalações – Facilidade para defesa – SC₃₂

Escala de Avaliação	Categorias				
	E	MA	A	PA	I
Facilidade para defesa excelente	1,0	0,7	0,5	0,2	0,1
Facilidade para defesa normal	0,4	0,8	1,0	0,6	0,3
Facilidade para defesa deficiente	0,1	0,2	0,4	1,0	0,8

Tabela 5.13: Tabela de Contribuições para o critério Segurança – Segurança das Instalações – Proximidade de tropa amiga – SC₃₄

Escala de Avaliação	Categorias				
	E	MA	A	PA	I
Próxima à tropa amiga relevante	1,0	0,7	0,5	0,2	0,1
Distância normal de tropa amiga	0,5	0,7	0,9	0,4	0,2
Distância reduzida de tropa amiga	0,0	0,1	0,2	0,6	0,8
Distância de tropa amiga incompatível	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1

Tabela 5.14: Tabela de Contribuições para o critério Segurança – Segurança das Instalações – Flancos expostos ou protegidos – SC_{36}

Escala de Avaliação	Categorias				
	E	MA	A	PA	I
Flanco exposto	0,0	0,1	0,2	0,3	0,7
Flanco protegido	1,0	0,7	0,5	0,3	0,1

Tabela 5.15: Tabela de Contribuições para o critério Situação Logística – EPS em uso e EPS prevista para utilização – SC_{41}

Escala de Avaliação	Categorias				
	E	MA	A	PA	I
EPS excelente	1,0	0,9	0,8	0,7	0,0
EPS normal	0,4	0,8	1,0	0,6	0,1
EPS deficiente	0,0	0,1	0,3	0,5	1,0

FASE 5 - Definição dos pesos entre os critérios para definição de BLB

O autor [87] aponta o entendimento intuitivo e a experiência prática como fatores importantes no processo de tomada de decisão. Sendo que uma dificuldade natural enfrentada no processo de tomada de decisão surge quando o problema não é analisado por um indivíduo, mas sim por um grupo de pessoas, como um comitê, uma comissão, um conjunto de sócios de uma empresa, por exemplo.

Uma decisão em grupo envolve, além da complexidade natural do problema, as relações interpessoais dos componentes de um dado grupo decisor e os objetivos específicos de cada indivíduo. Em um grupo existe, geralmente, pluralidade de opiniões e de poderes de persuasão. Além disso, em casos extremos, representam partidos de valores, critérios e prioridades em oposição. Tal situação geralmente culmina em conflitos, o que mostra a grande dificuldade em realizar uma decisão em grupo [23].

No caso em estudo chegou-se a um consenso quanto à mensuração dos pesos entre os critérios e entre subcritérios. Mas o autor [73] aclara, que a colaboração é o princípio para obter-se resultados satisfatórios, e reitera que ela não significa concordância. Colaboração certamente precisa de comunicação, mas nem sempre a melhora na comunicação implica em melhoria na colaboração.

Portanto as quantificações contidas nas Tabelas 5.16 a 5.20, não significam concordância absoluta, mas sim que houve discussão do assunto sem restrições, de maneira consensual.

Conforme os pesquisadores [59], a importância relativa entre os critérios será definida da mesma forma que no método TODIM. Primeiramente é montada uma matriz de

comparações paritárias com cada um dos critérios e subcritérios selecionados do manual de campanha que trata da doutrina de logística no EB, [13]. Essas matrizes foram preenchidas utilizando-se a escala fundamental, citada pelo autor [71], descrita na Tabela 4.3.

As Tabelas 5.16 a 5.20 mostram as matrizes de comparações paritárias preenchidas. A partir destas matrizes é obtido um novo vetor de pesos. Cada uma de suas componentes é calcula por meio da média aritmética das linhas da matriz citada e procede-se a retirada da inconsistência conforme exposto no Capítulo 4 desta dissertação.

Tabela 5.16: Matriz de Comparações paritárias pertinentes aos critérios preenchida utilizando-se a Escala Fundamental de Saaty

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
C ₁ – Manobra	1	3	5	7
C ₂ – Terreno	1/3	1	3	5
C ₃ – Segurança	1/5	1/3	1	3
C ₄ – Situação Logística	1/7	1/5	1/3	1

Tabela 5.17: Matriz de Comparações paritárias pertinentes ao critério manobra preenchida utilizando-se a Escala fundamental de Saaty

	SC ₁₁	SC ₁₂	SC ₁₃	SC ₁₄	SC ₁₅
SC ₁₁ – Apoio Cerrado	1	3	1/2	1/7	1/9
SC ₁₂ – Distância Máxima de Apoio	1/3	1	1/3	1/5	1/7
SC ₁₃ – Favorecimento do Esforço da Ação Tática	2	3	1	1/3	1/5
SC ₁₄ – Continuidade do Apoio	7	5	3	1	1/5
SC ₁₅ – Interferência com a Manobra	9	7	5	5	1

Tabela 5.18: Matriz de Comparações paritárias pertinentes ao critério terreno preenchida utilizando-se a Escala Fundamental de Saaty

	SC ₂₁	SC ₂₂	SC ₂₃	SC ₂₄	SC ₂₅	SC ₂₆
SC ₂₁ – Existência de Água	1	1/9	1/7	1/5	1/3	1/3
SC ₂₂ – Rede Rodoviária Compatível (Circulação Interna)	9	1	2	5	3	3
SC ₂₃ – Existência de Construções	7	1/2	1	2	3	3
SC ₂₄ – Cobertas e Abrigos	5	1/5	1/2	1	3	3
SC ₂₅ – Obstáculo no Interior da Área	3	1/3	1/3	1/3	1	5
SC ₂₆ – Consistência do Solo	3	1/3	1/3	1/3	1/5	1

Tabela 5.19: Matriz de Comparações paritárias pertinentes ao critério segurança preenchida utilizando-se a Escala Fundamental de Saaty

	SC ₃₁	SC ₃₂	SC ₃₃	SC ₃₄	SC ₃₅	SC ₃₆
SC ₃₁ – Segurança de Fluxo	1	9	3	5	3	3
SC ₃₂ – Segurança das Instalações (Facilidade para Defesa)	1/9	1	1/7	1/5	1/3	1/3
SC ₃₃ – Segurança das Instalações (Dispersão e Apoio Mútuo)	1/3	7	1	5	2	3
SC ₃₄ – Segurança das Instalações (Proximidade de Tropa Amiga)	1/5	5	1/5	1	1/3	3
SC ₃₅ – Segurança das Instalações (Distância de Segurança)	1/3	3	1/2	3	1	5
SC ₃₆ – Segurança das Instalações (Flancos Expostos ou Protegidos)	1/3	3	1/3	1/3	1/5	1

Tabela 5.20: Matriz de Comparações paritárias pertinentes ao critério situação logística preenchida utilizando-se a Escala Fundamental de Saaty

	SC ₄₁
SC ₄₁ – Situação Logística – Localização atual das instalações de apoio logístico do Escalão Superior	1

Depois de normalizados e retiradas as inconsistências, obtém-se o resultado do vetor de importância dos critérios $W_{critério}$, conforme Equação 5.1, e dos vetores de pesos dos subcritérios, Equações 5.2 a 5.5. A soma das componentes de cada vetor de peso de cada critério e de cada subcritério é igual a 1(um), conforme evidenciado na Equação 5.6. Na implementação e elaboração deste estudo de caso, através do Método TOFIM-FSE, bem como no desenvolvimento teórico de AMD, utiliza-se a letra W como notação referente a importância dos critérios, similar a \tilde{u}_i , Equação 4.15, que é denotado por W para não carregar os índices das equações subsequentes.

$$W_{critério} = \left[0,50725 \quad 0,29589 \quad 0,14372 \quad 0,05314 \right] \quad (5.1)$$

$$W_{subcritério}^{C_1} = \left[0,07524 \quad 0,03395 \quad 0,16104 \quad 0,27366 \quad 0,45611 \right] \quad (5.2)$$

$$W_{subcritério}^{C_2} = \left[0,03050 \quad 0,33084 \quad 0,23734 \quad 0,18268 \quad 0,14384 \quad 0,07480 \right] \quad (5.3)$$

$$W_{subcritério}^{C_3} = \left[0,33231 \quad 0,02936 \quad 0,25385 \quad 0,13477 \quad 0,17770 \quad 0,07200 \right] \quad (5.4)$$

$$W_{subcriterio}^{C_4} = \left[1, 00000 \right] \quad (5.5)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (5.6)$$

FASE 6 - Classificação de Cada Alternativa em uma das Categorias Proposta

Para efetuar a avaliação é necessário obter as características e dados das áreas candidatas, no caso em estudo serão utilizadas as candidatas à Base Logística de Brigada: BLB₁, BLB₂, BLB₃ e BLB₄.

Com tais informações será possível obter os dados de entrada para a classificação usando o TODIM-FSE, seguindo as quantificações e qualificações contidas na Tabela 5.21.

Tabela 5.21: Resultado das avaliações realizadas pelos oficiais e especialistas integrantes do EM

Parâmetros		Avaliações das candidatas à Base Logística de Brigada			
Critérios	Subcritérios	BLB ₁	BLB ₂	BLB ₃	BLB ₄
MANOBRA	SC ₁₁	27 km	21,5 km	17 km	24 km
	SC ₁₂	70 km	80 km	90 km	73 km
	SC ₁₃	Esforço totalmente eixado	Esforço eixado parcialmente	Esforço totalmente eixado	Esforço eixado parcialmente
	SC ₁₄	Permite grande continuidade	Permite grande continuidade	Permite grande continuidade	Permite grande continuidade
	SC ₁₅	Inexistência de interferência	Pouca interferência	Pouca interferência	Pouca interferência
TERRENO	SC ₂₁	Local com Água suficiente	Local com Água suficiente	Local com Água suficiente	Local com Água em abundância
	SC ₂₂	Capacidade de Tráfego excelente	Capacidade de Tráfego normal	Capacidade de Tráfego normal	Capacidade de Tráfego excelente
	SC ₂₃	Muitas construções aproveitáveis	Sem construções aproveitáveis	Sem construções aproveitáveis	Poucas construções aproveitáveis
	SC ₂₄	Grande número de cobertas e abrigos	Sem cobertas e abrigos	Sem cobertas e abrigos	Médio número de cobertas e abrigos
	SC ₂₅	Pouco número de obstáculos	Médio número de obstáculos	Médio número de obstáculos	Sem obstáculos
	SC ₂₆	Grande consistência	Pouca consistência	Média consistência	Grande consistência
SEGURANÇA	SC ₃₁	Segurança de fluxo normal	Segurança de fluxo ótima	Segurança de fluxo ótima	Segurança de fluxo precária
	SC ₃₂	Facilidade para defesa deficiente	Facilidade para defesa normal	Facilidade para defesa normal	Facilidade para defesa excelente
	SC ₃₃	6 km ²	7 km ²	8 km ²	9 km ²
	SC ₃₄	Distância normal de tropa amiga	Distância normal de tropa amiga	Próxima à tropa amiga relevante	Distância reduzida de tropa amiga
	SC ₃₅	33 km	27 km	21 km	28,5 km
	SC ₃₆	Flanco exposto	Flanco protegido	Flanco protegido	Flanco exposto
SIT. LOGISTICA	SC ₄₁	EPS normal	EPS normal	EPS normal	EPS normal

Utilizando-se os dados das Tabelas 5.2 a 5.15, de contribuições agrupadas dos critérios, e os dados obtidos no gráfico das funções *fuzzy* constantes das Figuras 5.3 a 5.6, determinam-se os valores da Tabela 5.22.

Tabela 5.22: Tabela de contribuições agrupadas dos critérios e subcritérios, resultado das avaliações realizadas pelos oficiais e especialistas integrantes do EM

Critério / Subcrit.	AVALIAÇÕES DAS CANDIDATAS À BASE LOGÍSTICA DE BRIGADA																			
	BLB ₁				BLB ₂				BLB ₃				BLB ₄							
	E	MA	A	PA	I	E	MA	A	PA	I	E	MA	A	PA	I	E	MA	A	PA	I
SC ₁₁	0,51	0,28	0,00	0,00	0,00	0,96	0,04	0,00	0,00	0,00	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,76	0,24	0,00	0,00	0,00
SC ₁₂	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
SC ₁₃	1,00	0,90	0,50	0,30	0,00	0,50	0,70	0,80	0,50	0,30	1,00	0,90	0,50	0,30	0,00	0,50	0,70	0,80	0,50	0,30
SC ₁₄	1,00	0,90	0,00	0,00	0,00	1,00	0,90	0,00	0,00	0,00	1,00	0,90	0,00	0,00	0,00	1,00	0,90	0,00	0,00	0,00
SC ₁₅	1,00	0,80	0,60	0,50	0,00	0,50	0,70	0,90	1,00	0,80	0,50	0,70	0,90	1,00	0,80	0,50	0,70	0,90	1,00	0,80
SC ₂₁	0,80	1,00	0,50	0,30	0,10	0,80	1,00	0,50	0,30	0,10	0,80	1,00	0,50	0,30	0,10	0,80	1,00	0,50	0,30	0,10
SC ₂₂	1,00	0,90	0,50	0,30	0,00	0,50	0,70	1,00	0,20	0,10	0,50	0,70	1,00	0,20	0,10	1,00	0,90	0,50	0,30	0,00
SC ₂₃	1,00	0,90	0,80	0,30	0,00	0,00	0,10	0,20	0,70	0,90	0,00	0,10	0,20	0,70	0,90	0,30	0,70	1,00	0,50	0,20
SC ₂₄	1,00	0,80	0,60	0,50	0,40	0,00	0,00	0,10	0,50	0,90	0,00	0,00	0,10	0,50	0,90	0,80	0,70	1,00	0,60	0,30
SC ₂₅	0,10	0,40	1,00	0,80	0,60	0,10	0,30	0,70	1,00	0,90	0,10	0,30	0,70	1,00	0,90	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60
SC ₂₆	1,00	0,80	0,60	0,50	0,20	0,10	0,20	0,40	1,00	0,80	0,80	0,70	1,00	0,60	0,30	1,00	0,80	0,60	0,50	0,20
SC ₃₁	0,50	0,70	1,00	0,40	0,20	1,00	0,80	0,70	0,40	0,10	1,00	0,80	0,70	0,40	0,10	0,10	0,30	0,70	1,00	0,60
SC ₃₂	0,10	0,20	0,40	1,00	0,80	0,40	0,80	1,00	0,60	0,30	0,40	0,80	1,00	0,60	0,30	1,00	0,70	0,50	0,20	0,10
SC ₃₃	0,00	0,01	0,14	0,14	0,01	0,14	0,61	1,00	0,00	0,00	1,00	0,61	0,14	0,00	0,00	0,14	0,01	0,00	0,00	0,00
SC ₃₄	0,50	0,70	0,90	0,40	0,20	0,50	0,70	0,90	0,40	0,20	0,50	0,70	0,90	0,40	0,20	0,00	0,10	0,20	0,60	0,80
SC ₃₅	0,92	1,00	0,99	0,03	0,00	0,77	0,84	0,01	0,00	0,00	0,50	0,03	0,00	0,00	0,00	0,82	0,95	0,11	0,00	0,00
SC ₃₆	0,00	0,10	0,20	0,30	0,70	1,00	0,70	0,50	0,30	0,10	1,00	0,70	0,50	0,30	0,10	0,00	0,10	0,20	0,30	0,70
SC ₄₁	0,40	0,80	1,00	0,60	0,10	0,40	0,80	1,00	0,60	0,10	0,40	0,80	1,00	0,60	0,10	0,40	0,80	1,00	0,60	0,10

Da Tabela 5.22, passa-se a utilizar os *trade-offs* embutidos nos pesos dos critérios e dos subcritérios para encontrar em qual categoria a alternativa possuirá a maior pontuação e, conseqüentemente, irá se enquadrar.

Para tal, utilizando-se do parâmetro de fator de atenuação de perdas $\theta = 1$, foi processado o cálculo do vetor \tilde{B} , Equação 4.18, para cada critério de cada BLB que representa avaliação sintética a ser utilizada nas equações do método TODIM-FSE, detalhadas na sexta etapa do item 4.3.3 do Capítulo 4 desta dissertação. .

Para o processamento do modelo matemático, foi desenvolvido um código computacional em *MATLAB*[®], R2013a, [41], conforme apresentado no Apêndice C.

5.2 Síntese dos Resultados da Aplicação TODIM-FSE para Classificação de BLB

Após realizar o processamento da classificação de cada alternativa nas categorias propostas, as alternativas de BLB são normalizadas utilizando o método TODIM-FSE e, assim, chega-se ao resultado apresentado na Tabela 5.23.

Verifica-se que a candidata a BLB que obteve a melhor pontuação foi a BLB₄, com a classificação Excelente. A segunda melhor classificada foi considerada a BLB₁ que

evidenciou ser Adequada segundo o modelo processado computacionalmente, tendendo em cerca de 98% para ser classificada como Muito Adequada. Na sequência, uma tendência em relação a categorias ordenadas de acordo com Figura 5.8, apresentam-se as candidatas a Base Logística, BLB_2 e BLB_3 , ambas também classificadas como Adequadas. Neste estudo de caso do Tema Carazinho, nenhuma BLB foi designada como Inadequada.

Tabela 5.23: Resultado final com utilização do método TODIM-FSE

Base Logística	Classificação em categorias				
	Excelente	Muito Adequada	Adequada	Pouco Adequada	Inadequada
BLB_1	0,8486	0,9833	1,0000	0,5062	0,0000
BLB_2	0,3958	0,7229	1,0000	0,4118	0,0000
BLB_3	0,4488	0,5932	1,0000	0,3637	0,0000
BLB_4	1,0000	0,8869	0,7806	0,6117	0,0000

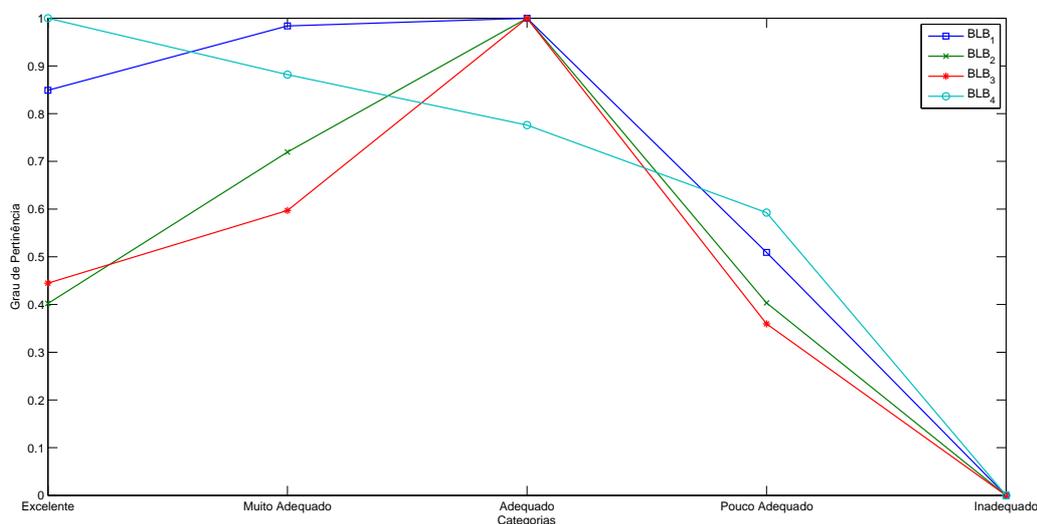


Figura 5.8: Gráfico em linhas com marcadores de Classificação Final de BLB.

5.3 Análise de Sensibilidade

Foram realizadas alterações de parâmetros buscando-se atender a “intenção do Comandante”, ou seja, estabeleceu-se maior prioridade para o esforço principal quanto ao critério Manobra. Portanto, alterou-se os valores da Tabela 5.16 (Matriz de comparações paritárias entre critérios), tudo com a finalidade de perceber a resistência dos valores das alternativas às novas preferências, obtendo-se a Tabela 5.24.

Com este procedimento pode-se observar que a modelagem computacional realizada, conforme Tabela 5.25, sugere ser coerente na medida em que as mudanças não implicaram em alterações incompatíveis, o que também foi validado pelos analistas e decisores no

Tabela 5.24: Matriz de Comparações paritárias pertinentes aos critérios, preenchida utilizando a Escala Fundamental de Saaty

	C_1	C_2	C_3	C_4
C_1 – Manobra	1	9	9	9
C_2 – Terreno	1/9	1	1	1
C_3 – Segurança	1/9	1	1	1
C_4 – Situação Logística	1/9	1	1	1

processo não eletrônico de estudo de situação logístico para classificação e priorização das BLB do Tema estudado.

Tabela 5.25: Resultado final, após análise de validação, com utilização do método TODIM-FSE

Base Logística	Classificação em categorias				
	Excelente	Muito Adequada	Adequada	Pouco Adequada	Inadequada
BLB_1	0,8845	1,0000	0,9778	0,5298	0,0000
BLB_2	0,2242	0,6170	1,0000	0,3722	0,0000
BLB_3	0,3369	0,5087	1,0000	0,3231	0,0000
BLB_4	1,0000	0,8397	0,6866	0,6287	0,0000

Com as alterações nos parâmetros dos pesos entre os critérios, ao se valorar o critério manobra em relação aos demais critérios e estabelecer que os critérios terreno, segurança e situação logística possuem igualdade de importância, ou seja, os fatores influem de forma similar para o objetivo, observou-se que apenas a BLB_1 modificou de classificação, conforme Figura 5.9. Portanto, a base citada passou da categoria adequada para muito adequada, o que indica ser razoável a análise de sensibilidade realizada.

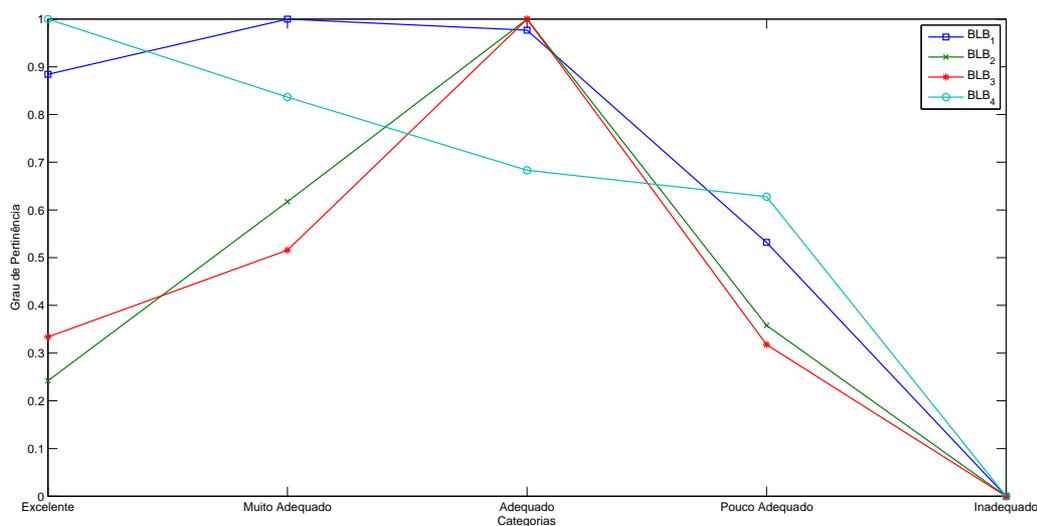


Figura 5.9: Gráfico em linhas com marcadores de Classificação Final de BLB após análise de sensibilidade.

5.4 Análise de Validação

A Análise de validação desta metodologia na abordagem deste problema foi realizada através de consulta a especialistas do quadro do Estado Maior do EB.

Os especialistas que validaram a pesquisa pertencem ao Centro de Doutrina do EB, Curso de Intendência e Curso de Material Bélico da Academia Militar das Agulhas Negras. Desta Forma, os resultados obtidos através da modelagem computacional do TODIM-FSE evidenciaram compatível resultado, conforme Tabela 5.26 , quando comparado com as avaliações dos especialistas citados.

Tabela 5.26: Resultado de Classificação de BLB - Tema Carazinho

Base Logística	Classificação em categorias			
	Curso de Intendência-AMAN	Curso de Mat. Bélico-AMAN	Centro de Doutrina EB	TODIM-FSE
BLB ₁	Muito Adequada	Adequada	Adequada	Adequada
BLB ₂	Adequada	Adequada	Adequada	Adequada
BLB ₃	Adequada	Adequada	Muito Adequada	Adequada
BLB ₄	Excelente	Muito Adequada	Excelente	Excelente

De acordo com os resultados da pesquisa, pode-se constatar que a metodologia empregada para a classificação de BLB apresentou resultados coerentes com o estudo de situação logístico do Tema Carazinho.

Portanto, o emprego da metodologia multicritério, TODIM-FSE, para apoiar à decisão na escolha de uma BLB atendeu a finalidade de favorecer a adoção e escolha de áreas mais adequadas por ocasião de operações militares.

Uma dificuldade natural é a elaboração das tabelas de contribuições relativas aos critérios e subcritérios qualitativos, dada a falta de acesso a dados estatísticos de operações militares, o que foi minimizado com a expertise dos analistas de decisão.

Seja qual for a técnica usada em AMD, o tomador de decisão pode obter informações adicionais pela realização de uma sensibilidade ou análise de robustez. Os objetivos desta análise são estabelecer o método adequado de solução de problemas com a finalidade de chegar a soluções robustas, e ganhar uma compreensão mais profunda sobre quais partes do problema são robustos.

Capítulo 6

Conclusões

Os problemas de tomada de decisão militar ocorrem em ambientes complexos em que a incerteza, conhecimento incompleto e ambiguidade são características intrínsecas. Por esta razão, a natureza de cada processo de tomada de decisão é revestida com características de informações imprecisas. Resolver complexos processos de tomada de decisão são muito difíceis devido à incerteza, risco e complexidades inerentes aos vários critérios e subcritérios do processo de tomada de decisão.

Ao lidar com a complexidade de incerteza, é muito útil utilizar ferramentas que podem dar informações corretas sobre todos os dados disponíveis. É difícil examinar os dados com a incerteza e os comentários das pessoas por meio da análise de vários critérios heterogêneos existente no processo de tomada de decisão.

O pesquisador [37] introduziu o método TODIM que sugere lidar com tais dificuldades citadas. Além disso, informações com ambiguidade afetam o processo de tomada de decisão. A ambiguidade decorre utilizando frases verbais como muito bom, bom, etc., média. Portanto, como se verificou na dissertação, a lógica *fuzzy* incorporada no método TODIM-FSE é um meio para reduzir o impacto de tais ambiguidades no processo de tomada de decisão. Nesta pesquisa, os dados de incerteza e ambiguidade influenciaram o processo decisório.

A revisão bibliográfica das principais metodologias de apoio à tomada de decisão contribuiu para a definição do método a ser escolhido em função da demanda de problemas militares com múltiplos e heterogêneos fatores tradicionais da decisão.

Ao se estudar os critérios que foram considerados na análise do problema, verificou-se que alguns fatores constantes da doutrina são redundantes, o que sugere ser razoável a sua fusão a fim de desenvolver uma modelagem mais compacta e objetiva.

Algumas incertezas nos dados coletados estão relacionadas às limitações da pesquisa, especialmente limitação para selecionar especialistas, não disponibilidade de muitos especialistas. Por conseguinte, para ultrapassar estas limitações, a utilização de um método integrando o modelo de lógica *fuzzy* ao multicriterial favorece adequadamente para o tratamento do problema de localização de BLB. Ressalta-se, ainda, que cada operação militar possui suas características peculiares e que as soluções sugerem ser heurística.

A aplicação da abordagem multicritério através do método TODIM-FSE demonstrou um desempenho satisfatório para classificação de BLB viáveis. O objetivo desta avaliação foi dar suporte à seleção da área apropriada segundo os diversos critérios e subcritérios para um desdobramento de tropas de apoio logístico, baseado na Doutrina Militar da Força Terrestre Brasileira que foi descrita no corpo da dissertação, permitindo contextualizar o estudo do Tema Carazinho.

6.1 Considerações dos Resultados

Utilizando as informações obteve-se como resultado os valores apresentados na Tabela 5.23, que qualifica as alternativas BLB_1 , BLB_2 e BLB_3 na categoria adequada e BLB_4 na categoria excelente. A classificação realizada pelos decisores, neste cenário, os oficiais de logística do EB, sem o auxílio de ferramentas de computação foram similares ao resultado obtido através da utilização da abordagem pelo método TODIM-FSE.

O estudo de caso, ilustrou como o modelo construído pode ser posto em prática. Usando TODIM-FSE as categorias são construídas experimentalmente, em conjunto com os decisores, depois da construção do modelo. As fronteiras para cada categoria irão depender de um conjunto de alternativas previamente definidas, ou mesmo em dados fictícios, utilizados pelos decisores como referências. Quanto à análise de sensibilidade, ao se priorizar o critério manobra, não houve modificação significativa quanto à classificação final das BLB consideradas no estudo de caso, apenas a BLB_1 passou da categoria adequada para muito adequada.

Os resultados foram processados através de código computacional, implementado em *MATLAB*[®], R2013a,[41], de acordo com o Apêndice C. Logo, a utilização da metodologia de AMD sugere ser uma proposta aplicável a casos genéricos em operações militares em tempo de paz e ou de guerra para apoiar a definição da localização de bases logísticas. Assim, verifica-se que com os estudos de pesquisa operacional é possível uma melhor compreensão das dimensões do problema, bem como se pode estruturá-lo levando em con-

sideração as preferências do decisor. É obvio que tais métodos não substituem o papel do decisor, mas constituem-se ferramentas que fornecem um embasamento capaz de direcionar para a melhor decisão, a partir da situação apurada pelo decisor e das prioridades estabelecidas, bem como das alternativas conhecidas e dos resultados esperados.

Portanto, o modelo TODIM-FSE aplicado no caso, apresentou resposta coerente na classificação de uma base logística dentro das categorias criadas pela análise multicritério. Isto mostra que o método pode ser utilizado para auxiliar os analistas militares no processo de decisão, especialmente quando há vários fatores exercendo influências nos resultados.

6.2 Publicações das Pesquisas Realizadas

Durante esta pesquisa realizada para elaboração desta dissertação, diversos artigos foram publicados em simpósios nacionais, destacando-se o artigo [77] publicado no Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional (SBPO), realizado em Salvador-BA de 16 a 19 de setembro de 2014, e o artigo [78] publicado no Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha (SPOLM), realizado no Rio de Janeiro-RJ nos dias 6 e 7 de agosto do corrente ano. Além destes artigos citados, a pesquisa propiciou a elaboração de outro artigo [76] apresentado no Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia (SEGeT), em outubro de 2014, na cidade de Resende-RJ.

6.3 Limitações e Trabalhos Futuros

Um aspecto relevante na aplicação do TODIM-FSE trata da percepção da subjetividade implícita gerada pela grande influência do tomador de decisão sobre os resultados. Entretanto, é razoável considerar que isso não representa um problema, uma vez que o objetivo é a representação das preferências deste decisor. Além disso, a intenção não é apresentar uma verdade absoluta, e sim apoiar o processo de decisão utilizando-se de recomendações e sugestões.

A principal limitação apontada para este estudo se refere à especificidade do problema tratado. Trata-se de uma modelagem que se aplica à situação proposta ao Tema Carazinho, apesar de haver razoável possibilidade de vir a ser replicada com adaptação ou rearranjo das informações.

Outro aspecto limitador é o nível de expertise dos analistas de decisão e decisor, particularmente, por ocasião da inserção dos pesos entre os critérios e subcritérios, bem

como na montagem das tabelas de contribuições. Assim, a habilidade no trato com a ferramenta pode ser apontada como outro ponto limitante na utilização do método, já que é possível considerar que nem todo critério qualitativo pode ser facilmente avaliado quantitativamente, e os parâmetros dos conjuntos e números *fuzzy* devem ser modelados judiciosamente e, baseados em dados históricos ratificados em documentos como o DAMEPLAN [15].

Quanto à indicação de estudos futuros o que se recomenda é:

a) A extensão da utilização do método para outras situações no nível divisão de exército e outros enquadrados no Comando Logístico do Teatro de Operações.

b) Implementar em maior escala, em operações de guerra e não guerra, visando permitir a criação de um banco de dados consistentes o suficiente para servir de base para novos e pertinentes parâmetros de estudo, servindo como instrumento gerador de conhecimento a profissionais dedicados ao desenvolvimento e aplicação dos métodos de Apoio Multicritério à Decisão.

c) Incluir nas tabelas de contribuições valores quantificados por números *fuzzy*, com o objetivo de verificar se tal ação contribui para esclarecer melhor o problema para o tomador de decisão.

d) Comparar a classificação de BLB realizada com o TODIM-FSE a outros métodos AMD de classificação de alternativas discretas como o ELECTRE TRI e o UTADIS.

Finalmente, pode-se concluir que o grande ganho na utilização do método TODIM-FSE, proposto nesta pesquisa, é a possibilidade de se considerar critérios e subcritérios, sejam estes objetivos e/ou subjetivos, para apoiar a escolha no processo decisório logístico militar, ressaltando-se a rapidez de processamento holístico. Múltiplos fatores e subfatores que, inegavelmente, interferem no resultado final. Logo, a metodologia abordada ratifica que este ramo da pesquisa operacional é pertinente quanto a atender a demanda militar de obter ferramentas de apoio ao processo decisório com a recomendação de ações que estejam em sintonia com as preferências expressas pelo agente de decisão.

Referências

- [1] AVELLA, P., BENATI, S., CÁNOVAS, M. L., DALBY, K., GIROLAMO, D. D., DIMITRIJEVIC, B., GHIANI, G., GIANNIKOS, I., GUTTMANN, N., HULTBERG, T. H., FLIEGE, J., MARIN, A., MUNÓZ, M. M., NDIAYE, M. M., NICKEL, S., PEETERS, P., PÉREZ, B. P., POLICASTRO, S., DE GAMA, F. A. *Some personal views on the current state and future of location analysis*. European Journal of Operations Research. Elsevier Science, 1998.
- [2] BANA E COSTA, C. A. Três convicções fundamentais na prática do apoio à decisão. *Pesquisa Operacional* 13, 1 (1993), 9–20.
- [3] BANA E COSTA, C. A., VANSNICK, J.-C. A critical analysis of the eigenvalue method used to derive priorities in AHP. *European Journal of Operational Research* 187, 3 (2008), 1422–1428.
- [4] BARROS, L., BASSANEZI, R. C. Tópicos de lógica fuzzy e biomatemática. *Coleção IMECC. Textos Didáticos* 5 (2006).
- [5] BELTON, V., STEWART, J. T. Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach. *London: Kluwer Academic Publishers* (2002).
- [6] BELTON, V., STEWART, J. T. Problem structuring and multiple criteria decision analysis. In: Ehrgott. Trends in multiple criteria decision analysis. *Springer* (2010).
- [7] BENAYOUN, R., DE MONTGOLFIER, J., TERGNY, J., LARITCHEV, O. Linear programming with multiple objective functions: Step method (STEM). *Mathematical programming* 1, 1 (1971), 366–375.
- [8] BERZINS, L., RANGEL, L. A. D. Performance evaluation of inmetro: a contribution of multicriteria decision aid. *Revista de Administração do Gestor*, 3 (2013), 19–35.
- [9] BIN, L. Fuzzy Synthetic Evaluation on Allocation Efficiency of Enterprise Information Resource. *International Conference on Information Management and Engineering. (ICIME 2011). Singapore. IPCSIT. 52* (2012).
- [10] BORGERT, A. *Construção de um sistema de gestão de produtos à luz de uma metodologia construtiva multicritério*. PhD thesis, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 1999.
- [11] BRAMONT, P. *Priorização de projetos sob a ótica social – um método robusto envolvendo múltiplos critérios*. PhD thesis, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, 1996.
- [12] BRASIL, MINISTÉRIO DA DEFESA. Glossário das Forças Armadas. MD35-G-01. (2007).

- [13] BRASIL, MINISTÉRIO DA DEFESA, EB. Manual de Campanha. Em *Apoio Logístico na Divisão de Exército e na Brigada*. C29-3. (2003).
- [14] BRASIL, MINISTÉRIO DA DEFESA, EB. Manual de Campanha. Em *O Batalhão Logístico*. C29-15. (2003).
- [15] BRASIL, MINISTÉRIO DA DEFESA, EB. Dados Médios de Planejamento Escolar (DAMEPLAN. ME-101-0-03). (2013).
- [16] BRASIL, MINISTÉRIO DA DEFESA, EB. Manual de Campanha. Em *Logística*. EB20-MC-10.204 (2014).
- [17] CAMPOS, A. J. S. Logística na paz e na guerra. *BIBLIEx. Rio de Janeiro* (1952).
- [18] CASTRO, A. H. F., BITTENCOURT, J. N. Armas: ferramentas da paz e da guerra. *BIBLIEx. Rio de Janeiro* (1991).
- [19] CAVASSIN, S. A. Uso de metodologias multicritérios na avaliação de municípios do Paraná com base no índice de desenvolvimento humano municipal. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-Pr, 2004.
- [20] CAVINATTO, D. P. Logística sob medida: possibilidade de aplicação doutrinária no exército brasileiro. Dissertação de Mestrado, ECEME, Rio de Janeiro-RJ, 2000.
- [21] CHANG, N. B., CHEN, H. W., NING, S. K. Identification of river quality water quality using the fuzzy synthetic evaluation approach. *Journal Environment Management* (2001).
- [22] COSENZA, C. A. Industrial location model - working paper, martin centre for architectural and urban studies. *Cambridge University* (1981).
- [23] COSTA, M. C. N. B. T. C. Decisão em grupo em métodos multicritério de apoio à Decisão. *XV ENCITA. São José dos Campos-SP*. (2009).
- [24] DA SILVA, P. *Fundamentos da Teoria da Decisão*. São Paulo: IME-USP, 1990.
- [25] ECCLES, H. E. Logistics in the national defense. Harrisburg, Pa.: The Stackpole. (1959).
- [26] ELLRAM, L. The use of case study method in logistics research. *Journal of Business Logistics* 17 (1996).
- [27] ENSSLIN, L., MONTIBELLER, G., NORONHA, S. Apoio à decisão: metodologia para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas. *Florianópolis: Insular* (2001).
- [28] FERREIRA, V. R. M. *Psicologia econômica: como o comportamento econômico influencia nas nossas decisões*. Coleção Expo Money. Elsevier Science, 2008.
- [29] FIGUEIREDO, R. A gestão moderna e a logística organizacional: como melhorar o desempenho das organizações militares de suprimento. *A Defesa Nacional* (2003).

- [30] FITTIPALDI, E. H. D., SAMPAIO, L. M. B., ALMEIDA, A. T. Apoio à decisão: Metodologia para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas. *Anais CHESF - Seminário de Planejamento Econômico-Financeiro do Setor Elétrico, Brasília-DF* (2000).
- [31] GOMES, K. G. A. Um método multicritério para localização de unidades celulares de intendência da Força Aérea Brasileira. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro-RJ, 2009.
- [32] GOMES, L., RANGEL, L. A. D., JUNIOR, M. R. L. Treatment of uncertainty through the interval smart/swing weighting method: a case study. *Separata de: Pesquisa Operacional. SOBRAPO v. 31* (2011).
- [33] GOMES, L., RANGEL, L. A. D., MOSHKOVICH, H., MECHITOV, A. Influence of models and scales on the ranking of multiattribute alternatives. *Separata de: Pesquisa Operacional. SOBRAPO v. 32* (2012).
- [34] GOMES, L. F. A. M. *Teoria da decisão*. Thomson Learning, 2007.
- [35] GOMES, L. F. A. M., ARAYA, M. C. G., CARIGNANO, C. *Tomada de decisões em cenários complexos*. CENGAGE:learning, 2011.
- [36] GOMES, L. F. A. M., GOMES, C. F. S. *Tomada de decisões gerencial: enfoque multicritério*. Ed. Atlas, 2012.
- [37] GOMES, L. F. A. M., LIMA, M. M. P. P. From modeling individual preferences to multicritério ranking of discrete alternatives: a look at prospect theory and the additive difference model. *Foundations of Computing and Decision Sciences* (1992).
- [38] GOMES, L. F. A. M., RANGEL, L. A. D. An application of the TODIM method to the multi-criteria rental evaluation of residential properties. *European Journal Operational Research* (2009).
- [39] GOMES, L. F. A. M., RANGEL, L. A. D., MARANHÃO, F. J. C. Multi-criteria analysis of natural gas destination in Brazil: an application of the TODIM method. *Mathematical Computer Model* (2009).
- [40] GOODWIN, P., WRIGHT, G. Decision analysis for management judgment. *Chichester: John Wiley and Sons* (2004).
- [41] GUIDE, MATLAB USER'S. The mathworks. *Inc., Natick, MA 5* (1998).
- [42] HERNANDES, F., BERTON, L., CASTANHO, M. J. D. P. O problema de caminho mínimo com incertezas e restrições de tempo. *Pesquisa Operacional 29, 2* (2009), 471–488.
- [43] HERNÁNDEZ, C. T. *Modelo de Gerenciamento da Logística Reversa integrado às questões estratégicas das organizações*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá. Universidade Estadual Paulista, 2010.
- [44] KAHNEMAN, D., TVERSKY, A. Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica: Journal of the Econometric Society* (1979), 263–291.

- [45] KEENEY, R. L., RAIFFA, H. Decision with multiples objectives: preferences and value tradeoffs. *New York: Wiley* (1976).
- [46] KODIKARA, P. N. *Multiobjective optimal operations of urban water supply systems. Thesis presented to the School of Architectural Civil and Mechanical Engineering.* PhD thesis, Victoria University, Australia, 2008.
- [47] KRESS, M. Operational logistics. *Tel Aviv: Ma'arachot* (2002).
- [48] KROHLING, R. A., SOUZA, T. T. M. F-todim: an application of the fuzzy todim method to rental evaluation of residential properties. *Congreso Latino-Iberoamericano de Investigación Operativa, SBPO. Rio de Janeiro-RJ.* (2012).
- [49] KUO, Y., CHEN, P. C. Selection of mobile value-added services for system operators using fuzzy synthetic evaluation. *Expert Systems with Applications* (2006).
- [50] L. A. D. RANGEL, L. A. D., GOMES, L. F. A. M., CARDOSO, F. P. An integrated multicriteria decision-making approach to real estate evaluation: case of the TODIM method. *Pesquisa Operacional (Impresso) 31* (2011), 235–249.
- [51] LOPES, I. D. P. B. A evolução da logística e a modernização de seu ensino no curso de intendência da aman. *Revista Sangue Novo v. 12* (2013).
- [52] LU, R. S., LO, S. L., HU, J. Y. Analysis of reservoir water quality using fuzzy synthetic evaluation. *Stoch Environ Res Risk Assessment 13* (1999), 327–336.
- [53] MADEIRA JUNIOR, A. G. Avaliação das unidades de escolta através da modelagem de apoio à decisão. Dissertação de Mestrado, COOPE-UFRJ, Rio de Janeiro-RJ, 2004.
- [54] MELACHRINOUDIS, E., MIN, H. The dynamic relocation and phase-out of a hybrid, two-echelon plant/warehousing facility: A multiple objective approach. *European Journal of Operational Research v. 123* (2000).
- [55] MENDEL, J. M. Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial. *Proceedings of the IEEE v. 83* (1995).
- [56] NIJKAMP, P., SPRONK, J. Analysis of production and location decisions by means of multicriteria analysis. *Eng. Process Economics v. 4* (1979).
- [57] ONKAL-ENGIN, G., DEMIR, I. Assessment of urban air quality in istanbul using fuzzy synthetic evaluation. *Atmospheric Environment* (2004).
- [58] PARREIRAS, R. O. *Algoritmos Evolucionários e Técnicas de Tomada de Decisão em Análise Multicritério.* PhD thesis, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. UFMG, 2006.
- [59] PASSOS, A. C., TEIXEIRA, M. G., GARCIA, K. C., CARDOSO, A. M., GOMES, L. F. A. M. Using the todim-fse method as a decision-making support methodology for oil spill response. *Computers & Operations Research 42* (2014), 40–48.
- [60] PIZZOLATO, N. D., BARCELOS, F. B., LORENA, L. A. N. Localização de escolas do ensino fundamental com modelos capacitado e não capacitado: Caso de Vitória, Espírito Santo. *Pesquisa Operacional v. 24* (2004).

- [61] PRADO, A. A. A. Análise de decisão multicritério aplicada na seleção de fornecedor de logística. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2011.
- [62] RAMOS, M. S. O processo de substituição de uma frota de aeronaves na força aérea portuguesa – uma aplicação da análise multicritério. Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa-Portugal, 2010.
- [63] RAMOS, M. S. Utilização da abordagem multicritério para priorização do portfólio de projetos de investimento em refino de petróleo. Dissertação de Mestrado, Faculdades IBMEC, São Paulo-SP, 2010.
- [64] RANGEL, L. A. D. Determinações de funções de utilidade através das preferências dos decisores sobre o conjunto de critérios empregando o Método UTA. *Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ* (2002).
- [65] RANGEL, L. A. D., GOMES, L. O apoio multicritério à decisão na avaliação de candidatos. *Produção Vol 20*, 1 (2010), 92–101.
- [66] RANGEL, L. A. D., GOMES, L. F. A. M., CARDOSO, F. P. An application of the TODIM method to the evaluation of broadband Internet plans. *Pesquisa Operacional* (2011).
- [67] RANGEL, L. A. D., GOMES, L. F. A. M., MOREIRA, R. A. Decision theory with multiple criteria: an application of ELECTRE IV and TODIM to SEBRAE/RJ. *Pesquisa Operacional 29*, 3 (2009), 577–590.
- [68] ROMERO, B. C., GUALDA, N. D. F. Localização de Plataformas Logísticas: Aplicação do AHP ao Caso do ETSP – Entrepósito Terminal São Paulo – da CEAGESP. In: *XX Congresso de Pesquisa de Ensino em Transportes da ANPET, Brasília* (2006).
- [69] ROY, B. Multicriteria methodology for decision aiding. *Dordrech: Kluwer Academic Publishers* (1996).
- [70] RUSSEL, S. H. The growing world of the term logistics. *Air Force Journal of Logistics v. 24* (2000).
- [71] SAATY, T. L. Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process. *Pittsburgh: RWS Publishing* (2006).
- [72] SADIQ, R; HUSAIN, T. V. B. B. N. Risk-based decision-making for drilling waste discharges using a fuzzy synthetic evaluation technique. *Ocean Engineering 31* (2004), 1929–1953.
- [73] SALGADO, M. C. V. Agregação individual em decisão em grupo. estudo de caso: avaliação da realização do voo tecnológico do veículo lançador de satélites vls-1. Dissertação de Mestrado, ITA, São José dos Campos-SP, 2008.
- [74] SCHMIDT, A. M. Processo de Apoio à Tomada de Decisão Abordagens: AHP e MACBETH. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 1995.

- [75] SILVA, C. Logística militar empresarial: uma abordagem reflexiva. *Military Review, Kansas v. LXXXIV* (2004).
- [76] SILVA, C. A., RANGEL, L. A. D., NEVES, T., DINIZ, L. Multicritério TODIM-FSE na avaliação de candidato a estágio para escritório de contabilidade. *XI-Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia(SEGGeT).Resende,RJ.* (2014).
- [77] SILVA, C. A., RANGEL, L. A. D., NEVES, T., GOMES, L. F. A. M. Análise de decisão multicritério TODIM-FSE aplicada na classificação de base logística de brigada. *XLVI-Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional(SBPO).Salvador-BA.* (2014).
- [78] SILVA, C. A., RANGEL, L. A. D., NEVES, T., GOMES, L. F. A. M. Utilização do método multicritério TODIM-FSE para classificação de base logística de brigada. *XVII-Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha(SPOLM).Rio de Janeiro-RJ.* (2014).
- [79] SILVA, D. A., TORIGOE, A. A. *Fluxo Logístico Militar Terrestre: Ensinaamentos da Logística Empresarial para as Operações Militares pós-Guerra Fria.* PADECEME, 1984.
- [80] SIMÕES, R. S.;RANGEL, L. A. D. Avaliação de fornecedores através do método ELECTRE TRI. *In: IV ENFEPRO - Encontro Fluminense de Engenharia de Produção, 2013. Anais do IV ENFEPRO, Volta Redonda* (2013).
- [81] SONCINI, P. Modelagem multicriterial para análise de projetos de investimento – o caso de uma distribuidora de energia elétrica. Dissertação de Mestrado, Universidade do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2008.
- [82] SUMATHI, S., SUREKHA, P. Computational intelligence paradigms : theory and applications using MATLAB. *New York: Taylor and Francis Group* (2010).
- [83] TABUCANON, M. T. Multiple criteria decision making in industry. *Amsterdam: Elsevier* (2008).
- [84] TOLEDO, O. M. Um caso de aplicação da Lógica Fuzzy – o Modelo Coppe-Cosenza de Hierarquia Fuzzy. *Anais: XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - Ouro Preto, MG.* (2003).
- [85] VANDERPOOTEN, D., VINCKE, P. Description and analysis of some representative interactive procedures. *Mathematical and Computer Modeling* 12, 10 (1989), 1221–1238.
- [86] VIEIRA, R. T. Análise de micropadrões em imagens digitais baseada em números fuzzy. Dissertação de Mestrado, USP, São Carlos-SP, 2013.
- [87] WIERZBICKI, A. On the role of intuition in decision-making and some ways of multicriteria aid of intuition. *Journal of Multi-Criteria Decisions Analysis* 6, 2 (1997), 65–76.
- [88] ZADEH, L. A. Fuzzy sets. *Information and control* 8, 3 (1965), 338–353.

APÊNDICE A

APÊNDICE A

Localização de Base Logística de Brigada: Abordagem Multicritério de Apoio à Decisão utilizando TODIM-FSE.

QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS E SUBCRITÉRIOS

Segundo a ótica de fatores estabelecidos pela doutrina de logística da Força Terrestre brasileira foram selecionados critérios e subcritérios relevantes com o objetivo de apoiar a decisão para escolha de BLB mais apropriada.

Esses critérios e subcritérios foram divididos em dois grupos: objetivos e subjetivos, conforme a Tabela A1 abaixo:

Tabela A1: Critérios Quantitativos (Objetivos) e Critérios Qualitativos (Subjetivos)

Critérios QUANTITATIVOS	Critérios QUALITATIVOS
SC ₁₁ – Manobra – Apoio cerrado	SC ₁₃ – Manobra – Favorecimento do esforço da ação tática
SC ₁₂ – Manobra – Distância máxima de apoio	SC ₁₄ – Manobra – Continuidade do apoio
SC ₃₃ – Segurança – Segurança das Instalações – Dispersão e apoio mútuo	SC ₁₅ – Manobra – Interferência com a Manobra
SC ₃₄ – Segurança – Segurança das Instalações – Proximidade de tropa amiga*	SC ₂₁ – Terreno – Existência de água
SC ₃₅ – Segurança – Segurança das Instalações – Distância de segurança	SC ₂₂ – Terreno – Rede rodoviária compatível – Circulação interna
SC ₄₁ – Situação Logística – Localização atual das instalações de apoio logístico do Escalão Superior*	SC ₂₃ – Terreno – Existência de construções
	SC ₂₄ – Terreno – Cobertas e abrigos
	SC ₂₅ – Terreno – Obstáculo no interior da área
	SC ₂₆ – Terreno – Consistência do solo
	SC ₃₁ – Segurança – Segurança de fluxo
	SC ₃₂ – Segurança – Segurança das Instalações – Facilidade para defesa
	SC ₃₆ – Segurança – Segurança das Instalações – Flancos expostos ou protegidos

* será tratado como o qualitativo, haja vista dificuldade de quantificar em termos de números *fuzzy*.

Definição da importância relativa entre os critérios e sub-critérios

Preencher uma matriz de comparações paritárias similar a utilizada no Analytic Hierarchy Process (do pesquisador Thomas L. Saaty), onde nela são inseridos julgamentos extraídos da Escala Fundamental de Saaty, apresentada na Tabela A2.

Tabela A2: Escala fundamental (Saaty, 2006)

Escala Numérica	Escala Verbal	Explicação
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação à outra.
5	Importância forte	A experiência ou juízo favorece fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito forte	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra. Pode ser demonstrada na prática.
9	Importância extrema	A evidência favorece uma atividade em relação à outra, com o mais alto grau de segurança.
2,4,6,8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições

Solicita-se ao analista/decisor entrevistado o preenchimento das matrizes de comparações paritárias, Tabelas A3 a A6, a serem preenchidas utilizando a Escala fundamental de Saaty.

Tabela A3: CRITÉRIOS

	C ₁ MANOBRA	C ₂ TERRENO	C ₃ SEGURANÇA	C ₄ SITUAÇÃO LOGÍSTICA
C ₁ MANOBRA	1			
C ₂ TERRENO		1		
C ₃ SEGURANÇA			1	
C ₄ SITUAÇÃO LOGÍSTICA				1

Tabela A4: SUBCRITÉRIO MANOBRA

	SC ₁₁	SC ₁₂	SC ₁₃	SC ₁₄	SC ₁₅
SC ₁₁	1				
SC ₁₂		1			
SC ₁₃			1		
SC ₁₄				1	
SC ₁₅					1

Tabela A5: SUBCRITÉRIO TERRENO

	SC ₂₁	SC ₂₂	SC ₂₃	SC ₂₄	SC ₂₅	SC ₂₆
SC ₂₁	1					
SC ₂₂		1				
SC ₂₃			1			
SC ₂₄				1		
SC ₂₅					1	
SC ₂₆						1

Tabela A6: SUBCRITÉRIO SEGURANÇA

	SC ₃₁	SC ₃₂	SC ₃₃	SC ₃₄	SC ₃₅	SC ₃₆
SC ₃₁	1					
SC ₃₂		1				
SC ₃₃			1			
SC ₃₄				1		
SC ₃₅					1	
SC ₃₆						1

APÊNDICE B

APÊNDICE B

Localização de Base Logística de Brigada: Abordagem Multicritério de Apoio à Decisão utilizando TODIM-FSE.

QUESTIONÁRIO PARA CLASSIFICAÇÃO DE BLB

Trata de avaliação do **Tema Carazinho – Modificado** – da EsAO. Foram selecionados critérios e subcritérios, constantes na Tabela B1 abaixo, relevantes da doutrina do EB com o objetivo de apoiar a decisão para escolha de BLB mais apropriada.

Tab B1: Tabela de critérios e subcritérios (SC)

Critérios QUANTITATIVOS	Critérios QUALITATIVOS
SC ₁₁ – Manobra – Apoio cerrado	SC ₁₃ – Manobra – Favorecimento do esforço da ação tática
SC ₁₂ – Manobra – Distância máxima de apoio	SC ₁₄ – Manobra – Continuidade do apoio
SC ₃₃ – Segurança – Segurança das Instalações – Dispersão e apoio mútuo	SC ₁₅ – Manobra – Interferência com a Manobra
SC ₃₄ – Segurança – Segurança das Instalações – Proximidade de tropa amiga*	SC ₂₁ – Terreno – Existência de água
SC ₃₅ – Segurança – Segurança das Instalações – Distância de segurança	SC ₂₂ – Terreno – Rede rodoviária compatível – Circulação interna
SC ₄₁ – Situação Logística – Localização atual das instalações de apoio logístico do Escalão Superior*	SC ₂₃ – Terreno – Existência de construções
	SC ₂₄ – Terreno – Cobertas e abrigos
	SC ₂₅ – Terreno – Obstáculo no interior da área
	SC ₂₆ – Terreno – Consistência do solo
	SC ₃₁ – Segurança – Segurança de fluxo
	SC ₃₂ – Segurança – Segurança das Instalações – Facilidade para defesa
	SC ₃₆ – Segurança – Segurança das Instalações – Flancos expostos ou protegidos

* Serão tratados como qualitativos, em virtude da inexistência de parâmetro no DAMEPLAN.

Solicita-se realizar o estudo logístico, baseado nas avaliações estabelecidas na Tabela B2, da manobra (extrato Figura A1 e A2) da 55ª Brigada de Infantaria Motorizada, que possui orgânico o 55º Batalhão Logístico e **emitir uma classificação** (excelente, muito adequada, adequada, pouco adequada ou inadequada) das candidatas à BLB's (BLB₁, BLB₂, BLB₃, BLB₄), **preenchendo** numericamente a Tabela B3 em ordem de prioridade, da mais aceitável (Nr 1) para a menos aceitável (Nr 5).

Figura B1: Extrato Croqui da Zona de Combate da 12ª Divisão de Exército.

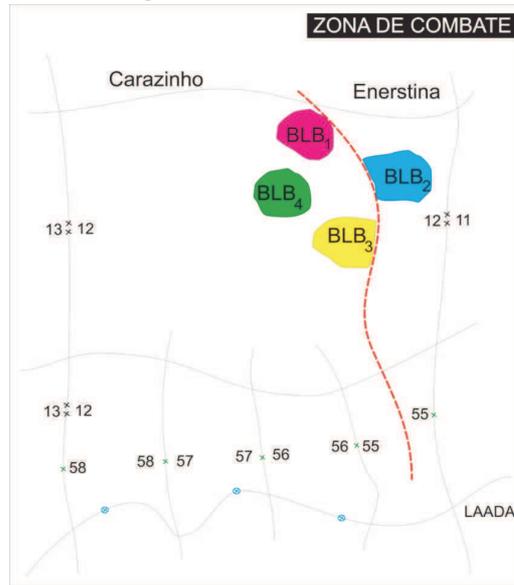


Figura B2: Extrato da Carta com candidatas a localização de BLB da 55ª Brigada de Infantaria Motorizada 12ª Divisão de Exército.

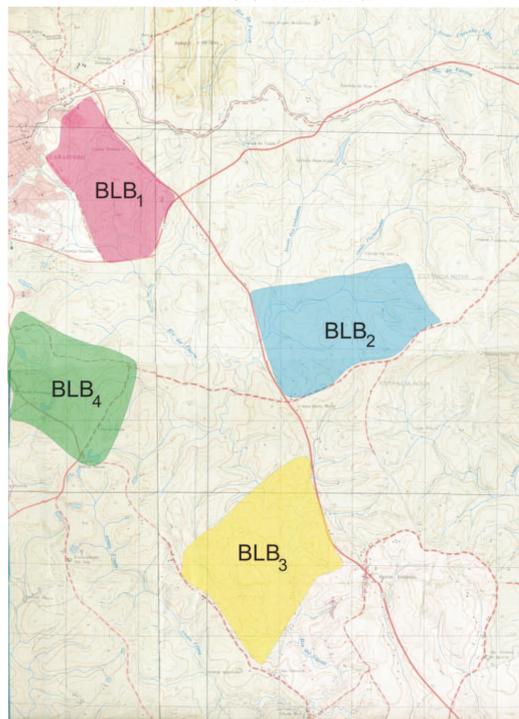


Figura B1 e B2: – Extrato adaptado de Operação Defensiva da 12ª Divisão de Exército (Fonte: autor e adaptação da Carta topográfica – Crt Carazinho/Enerstina– IBGE, 1ª impressão, 1979, Escala 1:50.000).

Tabela B2: Resultado das avaliações realizadas pelos oficiais e especialistas integrantes do EM.

Critérios	Subcritérios	Avaliações das candidatas à Base Logística de Brigada			
		BLB ₁	BLB ₂	BLB ₃	BLB ₄
MANOBRA	SC ₁₁	27 km	21,5 km	17 km	24 km
	SC ₁₂	70 km	80 km	90 km	73 km
	SC ₁₃	Esforço totalmente eixado	Esforço eixado parcialmente	Esforço totalmente eixado	Esforço eixado parcialmente
	SC ₁₄	Permite grande continuidade	Permite grande continuidade	Permite grande continuidade	Permite grande continuidade
	SC ₁₅	Inexistência de interferência	Pouca interferência	Pouca interferência	Pouca interferência
TERRENO	SC ₂₁	Local com Água suficiente	Local com Água suficiente	Local com Água suficiente	Local com Água em abundância
	SC ₂₂	Capacidade de Tráfego excelente	Capacidade de Tráfego normal	Capacidade de Tráfego normal	Capacidade de Tráfego excelente
	SC ₂₃	Muitas construções aproveitáveis	Sem construções aproveitáveis	Sem construções aproveitáveis	Poucas construções aproveitáveis
	SC ₂₄	Grande número de cobertas e abrigos	Sem cobertas e abrigos	Sem cobertas e abrigos	Médio número de cobertas e abrigos
	SC ₂₅	Pouco número de obstáculos	Médio número de obstáculos	Médio número de obstáculos	Sem obstáculos
	SC ₂₆	Grande consistência	Pouca consistência	Média consistência	Grande consistência
SEGURANÇA	SC ₃₁	Segurança de fluxo Normal	Segurança de fluxo ótima	Segurança de fluxo ótima	Segurança de fluxo precária
	SC ₃₂	Facilidade para defesa de eficiente	Facilidade para defesa normal	Facilidade para defesa normal	Facilidade para defesa excelente
	SC ₃₃	6 km ²	7 km ²	8 km ²	9 km ²
	SC ₃₄	Distância normal de tropa amiga	Distância normal de tropa amiga	Próxima à tropa amiga relevante	Distância reduzida de tropa amiga
	SC ₃₅	33 km	27 km	21 km	28,5 km
	SC ₃₆	Flanco exposto	Flanco protegido	Flanco protegido	Flanco exposto
SITUAÇÃO LOGÍSTICA	SC ₄₁	EPS normal	EPS normal	EPS normal	EPS normal

Tabela B3 - Resultado final.

Base Logística de Brigada	Classificação em categorias				
	Excelente	Muito Adequada	Adequada	Pouco Adequada	Inadequada
BLB ₁					
BLB ₂					
BLB ₃					
BLB ₄					

APÊNDICE C

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda-UFF (EEMVR)
% Mestrado em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia (MCCT)
% Código em MATLAB® R2013a
% Código utilizando o método multicritério TODIM-FSE para classificação BLB
% Set/2014
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clc; clear;
% vetor contendo os parâmetros iniciais = {número de critérios, subcritérios
% do critério 1, subcritérios do critério2,...,subcritérios do critério n}

aux = load('-ASCII','initialParameters.mat');

critérios = aux(1);
sub_critérios = aux(2:(critérios+1));
categorias=load('-ASCII','categorias.mat');
teste = textread('categoriasTitulos.mat','%s','delimiter',' ');

% vetor de avaliação conjunto
%-----

vsc_crit = zeros(max(sub_critérios),max(sub_critérios),critérios);

nomesArquivosCritérios = textread('nomesMatrizCritério.mat','%s','delimiter',' ');

for c=1:critérios
    vsc_crit(1:sub_critérios(c),1:categorias,c) = load('-
ASCII',char(nomesArquivosCritérios(c)));

    for i=1:sub_critérios(c)
        matriz_aval(i,:,c) = vsc_crit(i,:,c) / max(vsc_crit(i,:,c)) ;
    end
end

nomesArquivosSC = textread('nomesMatrizComparaSC.mat','%s','delimiter',' ');
matrizComparaSC=zeros(max(sub_critérios),max(sub_critérios),critérios)

for c=1:critérios
    matrizComparaSC(1:sub_critérios(c),1:sub_critérios(c),c) = load('-
ASCII',char(nomesArquivosSC(c)));
    vetor_critério(1:sub_critérios(c),c)=
    sum(matrizComparaSC(1:sub_critérios(c),1:sub_critérios(c),c),2); % o valor 2 representa
    somatório por linha
end

% normalizando os vetores
for j=1:critérios
    vetor_critério(1:sub_critérios(j),j)=
    vetor_critério(1:sub_critérios(j),j)/sub_critérios(j);% normalizando
end

for j=1:critérios
    vetor_peso_soma_critério(j)=sum(vetor_critério(1:sub_critérios(j),j),1);
end

```

```

for i=1:critérios

vetor_peso_critérios (i,1:sub_critérios(i))=transpose(vetor_critério(1:sub_critérios(i),i)/v
etor_peso_soma_critério(i));
end

vetCritérioFinal = zeros(critérios,categorias)

for c=1:critérios
    bc(c,1:categorias) =vetor_peso_critérios_(c,1:sub_critérios(c)) *
matriz_aval(1:sub_critérios(c),1:categorias,c);
    vetCritérioFinal(c,:)=bc(c,:)
end

teta = load('-ASCII','teta.mat')

Matriz_compar = load('-ASCII','matrizComparacao.mat')

vetor=sum(Matriz_compar,2);% o número 2 indica somatório por linhas
vetor_peso = vetor/critérios;
vetor_peso_soma = sum(vetor_peso,1);% o número 1 indica somatório por colunas
vetor_peso_critérios = vetor_peso/vetor_peso_soma;

matriz_decisao_1 = transpose(vetCritérioFinal);

for c=1:critérios
    norm1(:,c) =matriz_decisao_1(:,c) / max(matriz_decisao_1(:,c)) ;
end

% Cálculo das matrizes de dominância parciais - cálculos das diferenças de
% desempenho das alternativas

calcDiferCritérios=zeros(categorias,critérios,critérios)

for c=1:critérios
    for j=1:categorias
        calcDiferCritérios(:,j,c) =norm1(j,c)-norm1(:,c)
    end
end

% Matrizes com os cálculos das diferenças das alternativas em cada critério
% / subcritério - na função de valor do método TODIM-FSE.

for c = 1:critérios
for i = 1:categorias
    for j = 1:categorias
        if calcDiferCritérios(i,j,c)>= 0
            temp = calcDiferCritérios(i,j,c) * vetor_peso_critérios(c);
            calcDiferCritérios(i,j,c)=sqrt( temp )
        else
            temp =calcDiferCritérios(i,j,c) * (-1/ vetor_peso_critérios(c));
            calcDiferCritérios(i,j,c)= -1/teta(1,1) * sqrt(temp);
        end
    end
end
end

% MATRIZ DE DOMINÂNCIA FINAL DELTA(i,j) - FUNÇÃO DE LINEARIDADE
% ADITIVA

% somando as matrizes dos critérios

matriz_soma_elem = calcDiferCritérios(1:categorias,1:categorias,1)
for c=2:critérios
    matriz_soma_elem = matriz_soma_elem+ calcDiferCritérios(:,:,c);
end

```

```
alternativaC1 = sum(matriz_soma_elem,1)

minimo_valor = min(alternativaC1);
maximo_valor = max(alternativaC1);
alternativa_normalizada_TODIM = (alternativaC1(:) - minimo_valor) / (maximo_valor -
minimo_valor)%

% Resultado final da classificação de BLB com a utilização do TODIM-FSE

classificacao = cell(length(teste),2);
[classificacao(:,1)] = deal(teste{:});
my_number_cell = num2cell(alternativa_normalizada_TODIM);
[classificacao(:,2)] = deal(my_number_cell{:})
```