

MINISTÉRIO DA DEFESA NACIONAL

MARINHA

DEPARTAMENTO DE FORMAÇÃO DE ADMINISTRAÇÃO NAVAL



**LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE APOIO LOGÍSTICO AVANÇADOS
RECORRENDO A META-HEURÍSTICAS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS MILITARES NAVAIS
(ADMINISTRAÇÃO NAVAL)**

SETEMBRO DE 2013

ESCOLA NAVAL



CURSO PADRE FERNANDO OLIVEIRA

**LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE APOIO LOGÍSTICO AVANÇADOS
RECORRENDO A META-HEURISTICAS**

O Autor

O Orientador

ASPOF AN Hosten Yassine Aly

CMG Maia Martins

Dedicatória:

Ao meu pai, Hosten Yassine Ali, e a minha mãe, Páscoa Domingos Mugaua em reconhecimento do tempo por vós prescindido em prol da minha educação.

Y Nkama waku tsaka, Nkama waku nhosha, ni waku khensa. Kxanimambo...

(É tempo de alegria, tempo ser feliz e de agradecer, obrigado)

Agradecimentos

Hoje, passados 25 anos da minha vida seria mal interpretado se seleccionasse quais dos meus amigos, familiares e conhecidos dedicaria esta *vitória*, porque direta ou indiretamente cada um de vós foi importante para que cá chegasse. Nenhum dos meus próximos é definitivamente mais importante do que outro, pois sempre digo que vocês vieram até a mim ou vice-versa, por força de Deus. Mas, importa referir algumas pessoas e entidades não mais importantes que as outras, mas cuja colaboração e apoio foram indispensáveis:

Às Forças Armadas Portuguesas, em particular a Marinha Portuguesa, a casa de São Jorge, onde Neptuno guia tradições que se vão passando de geração em geração;

À Escola Naval Portuguesa, a mais antiga escola de marinheiros e de homens do mar que encobre-se do “*Talant de Bien Faire*”, e ao Curso Padre Fernando Oliveira pela camaradagem, paciência e apoio;

Ao meu orientador Capitão-de-mar-e-guerra Maia Martins, pela dedicação e motivação na elaboração da presente dissertação: *muito obrigado*;

Ao Gabinete do Adido de Defesa da Embaixada de Moçambique em Portugal, em especial ao Coronel Carlos Paradona, Adido de Defesa pelo apoio e dedicação na emancipação e motivação dos estudantes moçambicanos nas academias portuguesas;

À guarnição do N.R.P “António Enes”, em especial ao Comandante CTEN Coelho Gomes e aos Oficiais da guarnição pela disponibilidade demonstrada, durante o período do tirocínio de embarque, quer no esclarecimento de dúvidas, quer no apoio dado durante a realização deste trabalho;

À minha mãe, Páscoa Sumaela Domingos, por tudo quanto tem feito por mim, e aos meus irmãos, em especial ao arquiteto *Gago*, por ter sido o pai que (não) tive durante estes anos;

Aos meus amigos: Mestre Nelson Nhantumbo, Dra. Angélica Machiana, Cadete Manuel Ladislau, GMAR Ernesto Rungo, Manso João Machaieie, Nuno Simbine, CAP Jonas Mangia, Dr. Manuel Samuel Mugana, Cadete Edna Manuel, Dra. Laura Manusse, Sra. Laurinda Sumade, Sr. Issufo Ussemame e a Sra. Fátima Martins (Escola Naval – Biblioteca), o meu Khanimambo [Obrigado];

Ao Sr. Eduardo Abílio Cossa e sua esposa, Ana Lázaro, pelo companheirismo e atenção especial com que me receberam aquando da minha permanência em Portugal, e pela educação cristã que se resume na base da minha relação para com Deus;

À Tânia Michel da Conceição Faiane, pela incansável compreensão, conselhos e ajuda nos momentos difíceis, e nas mais variadas situações, onde partilhamos as ansiedades, alegrias e dificuldades;

E por fim, não menos importante, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para que progredisse como militar e como pessoa, em especial aos amigos com quem convivi em Lisboa, e conviverei nos próximos dias:

“Ninguém escapa ao sonho de voar, de ultrapassar os limites do espaço onde nasceu, de ver novos lugares e novas gentes. Mas saber ver em cada coisa, em cada pessoa, aquele algo que a define como especial, um objeto singular, ... é fundamental. Navegar é preciso, reconhecer o valor das coisas e das pessoas, é mais preciso ainda”.

Antoine de Saint-Exupéry

Resumo

A presente dissertação enquadra-se na linha de investigação em Sistemas de Apoio à Decisão, procurando otimizar os Pontos de Apoio Logístico Avançados (PALA), que servem de armazéns de mercadorias para os navios da esquadra da Marinha de Guerra de Moçambique. O principal objetivo da dissertação é de minimizar os custos e demoras no fornecimento de materiais necessários para garantir a operacionalidade da Marinha de Guerra de Moçambique.

As informações pertinentes foram recolhidas nas instalações logísticas em Moçambique e de requisições de material por unidades navais da Marinha Portuguesa. Para resolver o que é, essencialmente, um problema de otimização combinatória, foram aplicados os métodos do algoritmo genético e Simulated Annealing. Para o efeito, uma ferramenta de suporte de decisão foi desenvolvida na linguagem MATLAB, OPALAM, que permite ao usuário escolher o grau de importância dos dois critérios de otimalidade, custo e demora.

Os resultados obtidos por ambos os métodos variaram significativamente dependendo das alterações feitas pelo decisor durante o processo de simulação para 60 meses, embora se tenha verificado que o Simulated Annealing parece lidar da melhor forma com o problema.

Palavras-chave: Logística, Transporte, Multicritérios de tomada de decisão, Algoritmo Genético, Simulated Annealing.

Abstract

This dissertation is part of the research line on Decision Support Systems, seeking to optimize the Advanced Logistic Support Points (PALA) that serve as stores of goods to the ships of the squadron of the Navy of Mozambique. The main objective of the research is to minimize costs and delays in the provision of materials needed to ensure the operability of the Navy of Mozambique.

The relevant information was collected from actual freight facilities in Mozambique and from material requisitions by naval units of the Portuguese Navy. To solve what is, essentially, a combinatorial optimization problem, we applied the methods of genetic algorithm and simulated annealing. For this purpose, a decision support tool was developed in the MATLAB language, OPALAM that allows the user to choose the degree of importance of the two optimality criteria, cost and delay.

The results obtained by both methods varied significantly depending on the changes made by the decision-maker during the simulation process for 60 months, but simulated annealing seemed to be better able to cope with the problem on hand.

Keywords: Logistics, Transportation, Multicriteria Decision-making, Genetic Algorithm, Simulated Annealing.

Índice

Dedicatória:	I
Agradecimentos	II
Resumo	IV
Abstract	V
Índice de ilustrações, tabelas e anexos	IX
Lista de acrónimos	XI
1 Introdução	2
1.1 Pertinência do tema.....	5
1.2 Âmbito da investigação.....	5
1.3 Objetivos da investigação.....	5
1.4 Metodologia.....	6
2 Conceito de Logística operacional	10
2.1 Logística Operacional na Marinha de Guerra de Moçambique.....	13
3 Situação atual da rede dos transportes e vias de acesso	17
3.1 Sistemas Portuários e Ferroviários	18
3.1.1 Sistemas Marítimos, Aéreos e Rodoviários	19
3.2 A intermodalidade.....	20
3.2.1 As desvantagens da intermodalidade	21
3.2.2 As vantagens da intermodalidade	22
3.3 Pontos possíveis e portos de atracação	22
4 Investigação Operacional	25
4.1 Recolha dos dados	25
4.2 Tratamento dos dados	27

4.3	Custos e demoras dos transportes aéreos	27
4.4	Custos e demoras dos transportes rodoviários	29
4.5	Dados do SIGDN.....	30
4.6	Justificação da escolha do programa Matlab.....	33
5	A informação como base do sistema.....	35
5.1	A escolha do modelo matemático.....	38
5.2	O Programação Linear	39
5.3	Aplicação do Modelo Matemático.....	40
5.4	Custos de abertura de instalações	42
5.5	Custos de funcionamento das instalações	42
5.6	Custos de fornecimento do material aos navios	42
5.7	Variáveis de decisão	43
5.7.1	Variáveis auxiliares.....	43
5.8	Uniformização das escalas dos dados.....	44
5.9	Obtenção do valor dum solução.....	44
5.9.1	Definição de uma solução	44
5.10	Função multiobjectivo	45
5.11	Restrições.....	46
6	Meta-heurísticas.....	49
6.1	Algoritmo genético (AG)	50
6.1.1	Caldeirão inicial.....	51
6.1.2	Inicialização da amostra.....	51
6.1.3	Avaliação da população	51
6.1.4	Aplicação do ciclo	51
6.2	Simulated Annealing Algorithm (SAA)	54
6.2.1	Vizinho da solução inicial.....	55
7	A ferramenta de otimização	59

7.1	Variáveis de entrada: criação dos dados iniciais	60
7.2	Carregamento de dados	61
7.3	O processo de Simulação	62
7.4	Obtenção de Soluções e valores das soluções	63
7.4.1	Etapa 1.....	64
7.4.2	Etapa 2.....	64
7.4.3	Etapa 3.....	65
7.4.4	Etapa 4.....	65
7.4.5	Etapa 5.....	66
7.4.6	Etapa 6.....	67
8	Conclusões.....	69
8.1	Resposta à questão central.....	76
8.2	Recomendações	79
9	Referências bibliográficas.....	80
10	Anexos	82

Índice de ilustrações, tabelas e anexos

Ilustração 1. Mapa da localização dos Teatros de Operações da MGM.	7
Ilustração 2. Estrutura Orgânica da MGM.	14
Ilustração 3. Localização dos locais possíveis de abertura dos PALA.	23
Ilustração 6. Processo de tomada de decisão.	36
Ilustração 7. Transformação dos dados brutos em conhecimento.	37
Ilustração 8. Gráfico das soluções aceitáveis e matriz de facilidades por PALA.	45
Ilustração 9. Representação do cromossoma com 29 grupos de mercadorias.	52
Ilustração 10. Representação do cromossoma com 29 grupos de mercadorias.	52
Ilustração 11. Representação do cromossoma codificado (solução)	52
Ilustração 12. Processo de reprodução.	52
Ilustração 13. Processo de cruzamento com 2 pontos.	53
Ilustração 14. Representação dos novos descendentes	53
Ilustração 15. Processo de mutação a partir do ponto 15 escolhido aleatoriamente.	53
Ilustração 16. Solução inicial aceitável gerada aleatoriamente	54
Ilustração 17. Ambiente de trabalho do programa.	59
Ilustração 18. Janela de carregamento dos dados iniciais.	60
Ilustração 19. Carregamento dos dados iniciais.	60
Ilustração 20. Janela de informação para criação dos dados iniciais.	61
Ilustração 21. Carregamento dos dados para os algoritmos.	62
Ilustração 22. Apresentação dos resultados do AG e SAA.	74
Ilustração 23. PALA abertos nos diferentes Teatros de Operações da MGM	78
Tabela 1. Relação dos preços de transporte aéreo em Moçambique	28
Tabela 2. Relação das demoras de transporte aéreo em Moçambique.	29
Tabela 3. Relação dos Custos de transporte rodoviário em Moçambique.	29
Tabela 4. Relação das demoras de transporte rodoviário em Moçambique.	30
Tabela 5. Dados extraídos do SIGDN antes do tratamento.	31
Tabela 6. Dados extraídos do SIGDN depois do tratamento	31

Tabela 12. Valores obtidos no processo de simulação 1ª etapa.....	64
Tabela 13. Valores obtidos no processo de simulação 2ª etapa.	64
Tabela 14. Valores obtidos no processo de simulação 3ª etapa.....	65
Tabela 15. Valores obtidos no processo de simulação 4ª etapa.....	66
Tabela 16. Valores obtidos no processo de simulação 5ª etapa.....	66
Tabela 17. Valores obtidos no processo de simulação 6ª etapa.....	67
Tabela 18. Relação dos resultados das etapas de simulação.	72
Tabela 19. Melhores resultados obtidos utilizando AG.	73
Anexo 1. Matriz do Esforço Logístico.....	83
Anexo 2. Fatores condicionantes do processo de obtenção dos meios.	84
Anexo 3. Unidades de fornecimento dos materiais.	85
Anexo 4. Características do N.R.P. Águia.	86
Anexo 5. Teatros de Operações Navais da Marinha de Guerra de Moçambique.....	87
Anexo 6. Navio Patrulha "Pebane" (P001).	88
Anexo 7. Código do programa em Matlab.....	107

Lista de acrónimos

AM	Autoridade Marítima
BN	Base Naval
CFM	Caminhos de Ferro de Moçambique
COMAR	Comandante da Marinha de Guerra
CA	Comando Administrativo
EU COM	Comunicado da União Europeia
DA	Direção de Abastecimento (Marinha Portuguesa)
DNMGM	Dispositivo Naval da Marinha de Guerra de Moçambique
ELD	Esquadilha das Lanchas de Desembarque
ELF	Esquadilha de Lanchas de Fiscalização
ENP	Esquadilha dos Navios-patrolha
EMGFA	Estado-Maior General das Forças Armadas
EOFADM	Estrutura Orgânica das Forças Armadas de Defesa de Moçambique
FN	Força Naval
FADM	Forças Armadas de Defesa de Moçambique
GRP	Grupo de Mercadoria
LAM	Linhas Aéreas de Moçambique
MGM	Marinha de Guerra de Moçambique
MP	Marinha Portuguesa
Mt	Meticais, Moeda da República de Moçambique
MTC	Ministério dos Transportes e Comunicações
NNA	Número Nacional de Abastecimento
OEM	Orçamento do Estado Moçambicano
OPALAM	Otimização dos Pontos de Apoio Logísticos Avançados
PALOP	Países Africanos de Língua Oficial Portuguesa
PT	Pedido de transferência
PALA	Ponto de Apoio Logístico Avançado
PAN	Ponto de Apoio Naval
PALA	Ponto de Apoio Naval Avançado
PLI	Programação Linear Inteira
RIMAR	Regulamento Interno da Marinha (Moçambique)
SAD	Sistema de Apoio à Decisão
STM	Sistema de Transportes em Moçambique
SIG-DN	Sistema Integrado de Gestão da Defesa Nacional
SADC	Southern Africa Development Community
TON T	Teatro de Operações Navais de Tete
TON C	Teatro de Operações Navais do Centro

TON N	Teatro de Operações Navais do Norte
TON S	Teatro de Operações Navais do Sul
TON LN	Teatros de Operações Navais do Lago Niassa
ZEE	Zona Económica Exclusiva

Capítulo 1

Introdução

1 Introdução

“A vigilância permanente e a intervenção sem oposição militar estará a cargo das patrulhas oceânicas. Estão previstos 8 unidades, sendo dois com características específicas de combate à poluição. O dispositivo deverá prever 2 na Zona marítima dos Açores, 2 circulando nas Zonas Marítimas do Continente e Zona Marítima da Madeira. Penso que com o aumento da área de fiscalização se deve pensar em mais 1 de reforço, outro em trânsito e outro de reserva, o que totaliza 7 sempre operacionais. Para isso é necessário dispor pelo menos de 10 unidades, a confirmar com um **estudo específico de investigação operacional**.” (Cajarabille, 2009).

A afirmação acima transcrita enquadrou-se no âmbito do avanço da proposta de concessão dos novos meios de patrulhamento oceânico, os Navios de Patrulha Oceânicos da Classe Viana de Castelo, que não vieram a ser concretizados na sua totalidade. Note que, na citação o autor se baseia em números; cuidadosamente refere-se existir a necessidade de 7 novos meios, e conclui em adquirir 10 meios de forma a garantir que haja sempre 3 navios de reserva, permanentemente. O problema que aqui se coloca é de garantir meios suficientes para o patrulhamento marítimo da nova Plataforma Continental Portuguesa. Para terminar, o orador faz uma constatação que muitos dos decisores não têm em consideração diante da decisão de decidir, exortando que tais números de navios a concessionar só deveriam ser validados mediante um **estudo específico de investigação operacional** (Cajarabille, 2009).

Para o presente estudo poderemos considerar o exemplo do caso português para entender o quão pertinente é o estudo pioneiro da investigação operacional antes da implementação dos projetos.

Em Moçambique, a Marinha de Guerra de Moçambique (MGM) é o ramo das Forças Armadas de Defesa de Moçambique (FADM), que se responsabiliza pelas atividades de carácter público estritamente ligadas ao uso do mar. O Decreto n.º 41/2011 de 02 de Setembro aprovou a Estrutura Orgânica das Forças Armadas de Defesa de Moçambique (EOFADM) e define claramente as funções da Marinha de Guerra de Moçambique, das quais uma destas se resume em “preparar, aprontar, empregar as forças e manter os meios necessários para garantir a defesa, o controlo e a vigilância da costa marítima e das águas interiores”, ou seja, dos interesses da nação. Mas, em contrapartida este decreto não especifica de que forma e quais os

procedimentos que a MGM deverá seguir de forma a cumprir com as suas incumbências, deixando assim, alguma discricionariedade por parte da Marinha no seguimento das suas atividades.

Desta forma, nos últimos dez anos, vários desafios se têm colocado ao nível dos procedimentos e regras de execução das atividades na MGM. O desequilíbrio financeiro das FADM e as fragilidades económicas face aos fatores exógenos, e aos efeitos das constantes mudanças no domínio e aproveitamento do mar, têm impulsionado novas normas, regulamentos e Leis.

No sentido de melhorar a organização interna e otimizar a gestão da atividade do Estado, têm sido tomadas várias medidas pelo Governo de Moçambique, e algumas destas propostas pelas próprias organizações, de forma a garantir eficientemente e permanente a realização das atividades de interesse público no mar, numa perspetiva de duplo uso, conforme cita a Proposta do Regulamento Interno da Marinha, Proposta do RIMAR¹.

No Artigo 16º e seguintes da Proposta do RIMAR, são definidas as competências e constituições das unidades, estabelecimentos e organismos que se pretendem criar para o suporte logístico das operações que conduzirão ao cumprimento da missão da MGM. Estes artigos preveem a criação de 5 Bases Navais e 4 Pontos de Apoios Navais que deverão operar com três esquadrilhas de navios, em conformidade com o artigo 19º do mesmo regulamento (RIMAR, 2011).

Nesta ótica será que a criação de nove organismos ao longo da costa marítima, interior e águas lacustres fluviais serão indispensáveis para garantir a operacionalidade das três esquadrilhas de navios da MGM?

Serão todos estes organismos necessários ou apenas algumas bases e pontos que garantam aos critérios da *economia, eficácia e eficiência*? Segundo Stoner e Freeman (1985), o conceito de eficácia está relacionado com a capacidade de alcançar os

¹ No ano de 2011, ao abrigo do disposto no Artigo 51º, do Decreto n.º 41/2011, de 02 de Setembro, que aprova o EOFADM, a MGM propôs ao Governo de Moçambique a Proposta do Regulamento Interno da Marinha de Guerra de Moçambique, que se pretende que seja um Despacho cuja finalidade é definir os princípios de organização e os respetivos procedimentos.

objetivos certos; a eficiência está relacionada com a capacidade de alcançar os melhores resultados minimizando os recursos (Stoner & Freeman, 1985, p. 5) .

Assim, a presente dissertação pretende realizar um de *estudo específico de investigação operacional*, que poderá servir de base para racionalizar e otimizar a localização dos Centros de Abastecimentos Navais de Moçambique, tendo como base os possíveis portos de atracação dos navios.

A presente dissertação obedece as “*Normas Gerais para Redação de Trabalhos de Investigação na Escola Naval*”², e encontra-se estruturada da seguinte forma:

Capítulo 1: Introdução – Breve abordagem do tema da dissertação, a pertinência, o âmbito em que se aplica a investigação, os objetivos e a metodologia utilizada.

Capítulo 2: Enquadramento Teórico – Aponta descrição teórica da logística operacional, o paradigma sobre os processos logísticos da Marinha de Guerra de Moçambique.

Capítulo 3: Sistemas de Transporte em Moçambique – Breve caracterização do meio envolvente onde se desenvolve o estudo.

Capítulo 4: A informação e o Sistema de Apoio à Decisão – especifica o processo da recolha dos dados, tratamento da informação.

Capítulo 5: Modelação do Problema – Breve abordagem teórica sobre o Sistema de Apoio à Decisão, enquadramento matemático do modelo de decisão, definição da função objetivo e as respetivas restrições.

Capítulo 6: Simulação e Otimização – aplicação dos métodos meta-heurísticos de programação. Obtenção de soluções admissíveis e explicação do método de seleção da melhor solução. Discussão dos resultados obtidos.

Capítulo 7: Ferramenta OPALAM – ferramenta de otimização dos PALA da MGM. Processo de modelação em ambiente de trabalho Matlab.

Capítulo 8: Conclusões e recomendações – Análise geral do problema proposto, dificuldades, objetividade, resposta as questões principais e derivadas.

² Normas Gerais para Redação de Trabalhos de Investigação na Escola Naval são uma publicação interna da Escola Naval baseada na APA (American Psychological Association), 6ª edição.

Desfecho da dissertação e recomendação de futuros temas para dissertação que poderão utilizar a mesma esfera de raciocínio.

1.1 Pertinência do tema

A importância da investigação que se pretende desenvolver é proporcionar um mecanismo rápido e de baixo custo possível para a satisfação das necessidades dos navios da esquadra da Marinha de Guerra de Moçambique, tendo em consideração as restrições económicas, temporais e a escassez dos recursos financeiros e materiais.

1.2 Âmbito da investigação

A presente dissertação enquadra-se no âmbito das disciplinas de Abastecimento Logístico e Administração Financeira, Estatística, Investigação Operacional, Análise Económica e Sistemas de Apoio à Decisão, lecionadas durante a formação dos Oficiais da Classe de Administração Naval, na Escola Naval.

O projeto integra-se no âmbito dos Sistemas de Apoio à Decisão, e permitirá a Marinha de Guerra de Moçambique, otimizar os custos inerentes aos processos logísticos de obtenção, armazenagem e distribuição de materiais entre os vários centros de abastecimento (bases navais e pontos de apoios navais) ao longo da costa, nas águas interiores e lacustres fluviais.

1.3 Objetivos da investigação

O principal objetivo deste estudo consiste na localização de Pontos de Apoios Navais ou centros de abastecimento, em suporte do Dispositivo Naval de Moçambique, e na identificação das facilidades que estes pontos poderão fornecer, utilizando métodos meta-heurísticos.

O resultado final, em forma de aplicação informática, deverá permitir que o utilizador introduza novos dados e obtenha uma boa solução correspondente, o que significa que este resultado corresponda ao menor custo ou demora, para a satisfação da necessidade do navio. Assim, foram traçados como metas por alcançar:

- a. O local considerado estratégico para abertura de Pontos de Apoio Logísticos Avançado, tendo em consideração as infraestruturas existentes nos Teatros de Operações;
- b. O custo de instalação e manutenção das facilidades em cada um dos possíveis pontos de apoio;
- c. As demoras de fornecimento, desde a emissão da requisição até a entrega do material ao navio.

1.4 Metodologia

Recorrendo aos dados reais das facilidades de transporte em Moçambique no que diz respeito aos transportes aéreos, ferroviários, rodoviários, marítimos e fluviais, bem como às necessidades logísticas dos navios da MGM, pretende-se otimizar os recursos disponibilizados utilizando simulação em *Algoritmo Genético* e *Simulated Annealing*.

Questão central do tema:

Onde deverão ser abertos os Pontos de Apoios Logísticos (centros de abastecimento), para o apoio da esquadra de navios e quais as mercadorias que poderão ser disponibilizadas, minimizando os custos e as demoras de fornecimento, da Marinha de Guerra de Moçambique?

Sabendo que em Moçambique várias empresas operam na área dos transportes, proporcionando ao país uma dinâmica bastante recreativa a nível da sustentação e organização logística, uma das grandes dificuldades que se preveem encontrar durante o processo de investigação, está relacionada com a falta de informação estruturada nas diversas empresas de transporte aéreo, terrestre, rodoviário e ferro portuário.

Será necessário definir os objetos logísticos de aprovisionamento que se pretendam armazenar nos pontos de apoio, de forma a garantir a existência das facilidades.

As informações sobre demoras e custos foram obtidas na sua maioria nos balcões das empresas de transportes aéreos e rodoviários existentes em Moçambique, e através das páginas e simuladores disponibilizados na internet.

Para os casos em que não foi possível obter os dados, foram criados dados fictícios de forma a colmatar as lacunas da falta de informação por parte de algumas organizações solicitadas. Algumas destas estimativas foram obtidas por consulta telefónica aos balcões de atendimento. No processo de simulação, serão utilizadas as informações sobre os Pedidos de Transferência (PT) de materiais do N.R.P Águia, entre Janeiro de 2008 e Novembro de 2012.⁴

Questões derivadas do tema:

- a. Quais os tipos e quantidades de navios usados nos dispositivos navais?*
- b. Quais os dispositivos navais (limites geográficos)?*
- c. Qual o principal porto praticado pelos navios de cada dispositivo naval?*
- d. Quais os grupos de mercadoria que os navios necessitam para as suas operações normais?*
- e. Como variam as necessidades dos navios, por classe, mês, grupo de mercadorias e peso?*
- f. Quais os custos de transporte de mercadorias entre os centros de abastecimento e os portos de atracação dos navios?*
- g. Qual a demora no transporte de mercadorias entre os centros de abastecimento e os portos de atracação dos navios?*
- h. Qual o custo da abertura de um centro de abastecimentos junto aos locais de atracação de um navio, dependendo dos grupos de mercadorias que fornece?*
- i. Qual o custo de manutenção de um centro de abastecimento, dependendo dos grupos de mercadorias que fornece?*

Tratando-se de um problema complexo, serão aplicados métodos meta-heurísticos, para otimização de uma função multiobjectivo envolvendo componentes relativas aos custos e à demora de fornecimento das mercadorias.

⁴ A Marinha Portuguesa utiliza o Sistema Integrado de Gestão da Defesa Nacional, uma ferramenta informática para a gestão do material, pessoal e financeira. Foi através desta ferramenta que foram obtidas as informações sobre os pedidos de transferência do material (PT) do N.R.P Águia, disponibilizados pela Direção de Abastecimento.

Capítulo 2

Enquadramento teórico

2 Conceito de Logística operacional

A logística está diretamente associada a economia dos meios para o êxito das operações (Carvalho, 2010). Porém, os meios e recursos são cada vez mais escassos, facto que, associado a necessidade do aumento da mobilidade das forças resultante do aumento da instabilidade e insegurança no mundo, conduz a avultadas quantidades de abastecimento a produzir, adquirir, transportar, armazenar e distribuir em tempo oportuno. Deste modo a logística assume o papel económico central e lugar de encontro entre, por um lado a produção, distribuição e consumo e, por outro, entre os fornecedores e clientes

O conceito de *logístico* esteve durante muitos anos associado a base de sustentação da guerra, ou seja, antigamente o termo *logístico* estava associado a arte de mover as forças militares e ao enquadramento destas em acampamentos, tendo em atenção as estimativas de material de guerra e outras provisões disponíveis para o alcance dos objetivos, mas era estudado numa perspetiva que se difere da atual (Pereira, Logística, 1966, p. 3).

Atualmente, as dificuldades crescentes de obtenção e distribuição dos recursos tem obrigado à criação de órgãos próprios ou externos destinados a assegurar o eficiente apoio material às forças no terreno, e frequentemente, ao aparecimento de novas fórmulas e técnicas inovadoras que se tornam, posteriormente, alvo das maiores atenções nos processos logísticos. Disto, resulta a necessidade da implementação dum modelo mais racional de promover e implementar sistemas de abastecimento da sociedade à própria sociedade, ou seja, um modelo coletivo que envolve praticamente toda a humanidade no sentido de maximizar o seu potencial de vida e a satisfação de cada uma das pessoas que a compõem, minimizando o esforço (logístico) de todos e de cada um, bem como a quantidade de recursos empregues (Carvalho, 2010).

Nas organizações militares, os sistemas logísticos aplicados encontram-se intrinsecamente associados às múltiplas operações e atividades, sendo atualmente consensual a aceitação de seis funções básicas com uma ou outra variante: *abastecimento, manutenção, pessoal, saúde, transportes e infraestruturas*. Cada um destes elementos funcionais assume-se como sendo uma função logística básica que é comum a todas as atividades técnicas nela incluídas (Dias, 2005, p. 28). Tal significa que, por exemplo, as atividades de adquirir, catalogar, classificar e armazenar têm como objetivo comum a função básica de abastecimento. Os elementos funcionais da logística

compõem a parte técnica do processo logístico que está diretamente relacionada com a procura dos meios e materiais para a preparação da melhor solução. Esta solução sustenta a resolução dos problemas logísticos, na preparação do planeamento e na condução das operações, o que entende por **logística operacional**.

Segundo Montez (1985), no âmbito de Marinha Portuguesa, a logística operacional é o conjunto de ações necessárias para assegurar o comportamento eficiente e económico das forças e seus sistemas de armas, bem como as estruturas não militares da Marinha, de acordo com o que designa de matriz do esforço logístico, em Anexo 1 (Dias, 2005, p. 29).

Os *elementos funcionais* devem ser considerados durante o processo de planeamento e execução das tarefas ou missões atribuídas, como sendo elementos de rotina para os quais deverão ser disponibilizados sempre que se determina uma necessidade da força. Assim, torna-se evidente a necessidade da criação dum mecanismo que garante a existência dos meios e matérias continuamente, a que se designa *ciclo logístico*. O ciclo logístico compreende três principais fases, que são:

- a. *Determinação de necessidades*
- b. *Obtenção*
- c. *Distribuição*

Cada um dos elementos funcionais da logística deve ser analisado em torno destas fases durante o processo logístico. Uma necessidade pode ser integrada ou determinada na área de abastecimento ou transporte, a sua satisfação só poderá ocorrer se garantidamente existirem critérios e normas que processam a aquisição dos meios, matérias e serviços, o que se pode relacionar diretamente com o processo de obtenção. Para assegurar o processo de obtenção presume-se que ocorram processos administrativos que resultam da análise dos elementos funcionais da logística, como por exemplo, a colheita de informações ou o planeamento, os quais conduzem à tomada de decisões.

Para um estudo aprofundado sobre o Ciclo Logístico poderão ser consultados os manuais de *Logística Global e Macro logística* (Dias, 2005) e *Logística* (Carvalho, 2010).

Na Logística Operacional, a base para a determinação do que é necessário no nível operacional reside no plano estratégico para uma determinada operação (Dias, 2005, p. 30). Este plano conterá uma descrição das forças a empregar, indicações sobre a duração da operação e uma estrutura conceptual da forma como deverá se conduzir. A determinação do que é necessário para o cumprimento de uma determinada missão é da responsabilidade individual de cada um dos membros dos diferentes sectores que compõe a estrutura organizacional da força⁵.

Assim, torna-se evidente que cada sector apresenta as suas necessidades específicas que se podem revelar em termos quantitativos e qualitativos de material ou serviços indispensáveis para o cumprimento da missão.

Quem determina a necessidade é o responsável pelo aprontamento do sector em estudo, portanto, deverá ter em conta o impacto para a força da insatisfação desta. No caso de estudo quem determina as necessidades são os navios da esquadra da MGM, as unidades, estabelecimentos e organismos localizados dentro dos respetivos teatros de operações navais⁶.

É evidente que a determinação das necessidades se pode considerar contínua para uma força a medida que se vai decorrendo a tarefa ou missão, razão pela qual existe a necessidade de integrar a fase da *determinação de necessidades* no processo de planeamento das missões, e agregar estas necessidades de acordo com o grau de importância.

O processo de obtenção tem lugar a seguir a determinação de necessidades até a satisfação desta, *a distribuição*. A obtenção baseia-se na determinação da necessidade, razão pela qual é largamente dependente das disponibilidades financeiras e das normas que o regulam.

Uma característica fundamental do processo de obtenção é a *aquisição* que é delimitada pela gestão das existências que, de acordo com os parâmetros estabelecidos fornece a informação sobre as três questões básicas da obtenção:

- a. *Qual - o material a adquirir e suas respetivas especificações técnicas?*
- b. *Quanto – quais as quantidades necessárias adquirir?*

⁵ O conceito de Logística Operacional está relacionado com a preparação dos meios para a execução das operações que asseguram o cumprimento das missões atribuídas. Contudo, alguns conceitos de logística conjunta e combinada podem diferir do conceito acima referenciado.

⁶ Para o presente estudo utilizam-se os dispositivos navais como sendo os teatros de Operações Navais. O mapa em Anexo 5 mostra a divisão dos diferentes teatros de operações ao longo da costa moçambicana e nas águas lacustres e fluviais.

c. *Quando – Em que momento deverá ser iniciada a aquisição?*

As questões relacionadas com a logística operacional estão na base do processo de planeamento logístico, assim, carecem de algum tipo de modulação para a previsão dos materiais que futuramente vão ser adquiridos pelos órgãos logísticos responsáveis pelas aquisições.

2.1 Logística Operacional na Marinha de Guerra de Moçambique

Segundo a Proposta do RIMAR, Anexo H, artigo 1º 1., os Comandos Administrativos são os órgãos situados na linha do Comandante da Marinha de Guerra (COMAR) e na direta dependência do Comando Naval (CN), destinados a promover o aprontamento e o apoio logístico e administrativo das unidades navais e os meios operacionais que lhe sejam atribuídas. As esquadrilhas (ENP, ELF e ELD) são os Comandos Administrativos (CA) que adquirem o material ao mercado.

A questão da logística conjunta das Forças Armadas de Defesa de Moçambique (FADM), sustenta o preceito de que nem todas as mercadorias fornecidas à Marinha de Guerra de Moçambique são provenientes dos Comandos Administrativos da própria MGM. Existe na estrutura do Estado-Maior General das Forças Armadas, o Departamento de Logística que assegura o planeamento e a execução das atividades logísticas das FADM.

Segundo o Decreto 41/2011, de 02 de Setembro, artigo 18º nº.2, o Departamento de Logística das FADM, deverá “*estudar, planear e coordenar o apoio logístico*” a prestar as FADM, designadamente, nos processos de aquisição (obtenção), reabastecimento, transporte, manutenção e serviços. Uma vez satisfeito o processo de obtenção, o Departamento de Logística das FADM inicia o processo de distribuição dos materiais pelas várias unidades. A *distribuição* tem lugar a partir do momento em que se tem o material (produzido⁷ ou adquirido) à disponibilidade nos centros de armazenagem (CA) e termina com a entrega do mesmo ao consumidor.

⁷As Forças Armadas de Defesa de Moçambique produzem em determinadas zonas os produtos agrícolas. A agricultura de produção permite a FADM sustentar-se em alguns produtos de consumo extraídos dos campos de produção, o que significa que nem todos os alimentos consumidos nas unidades militares são provenientes do mercado.

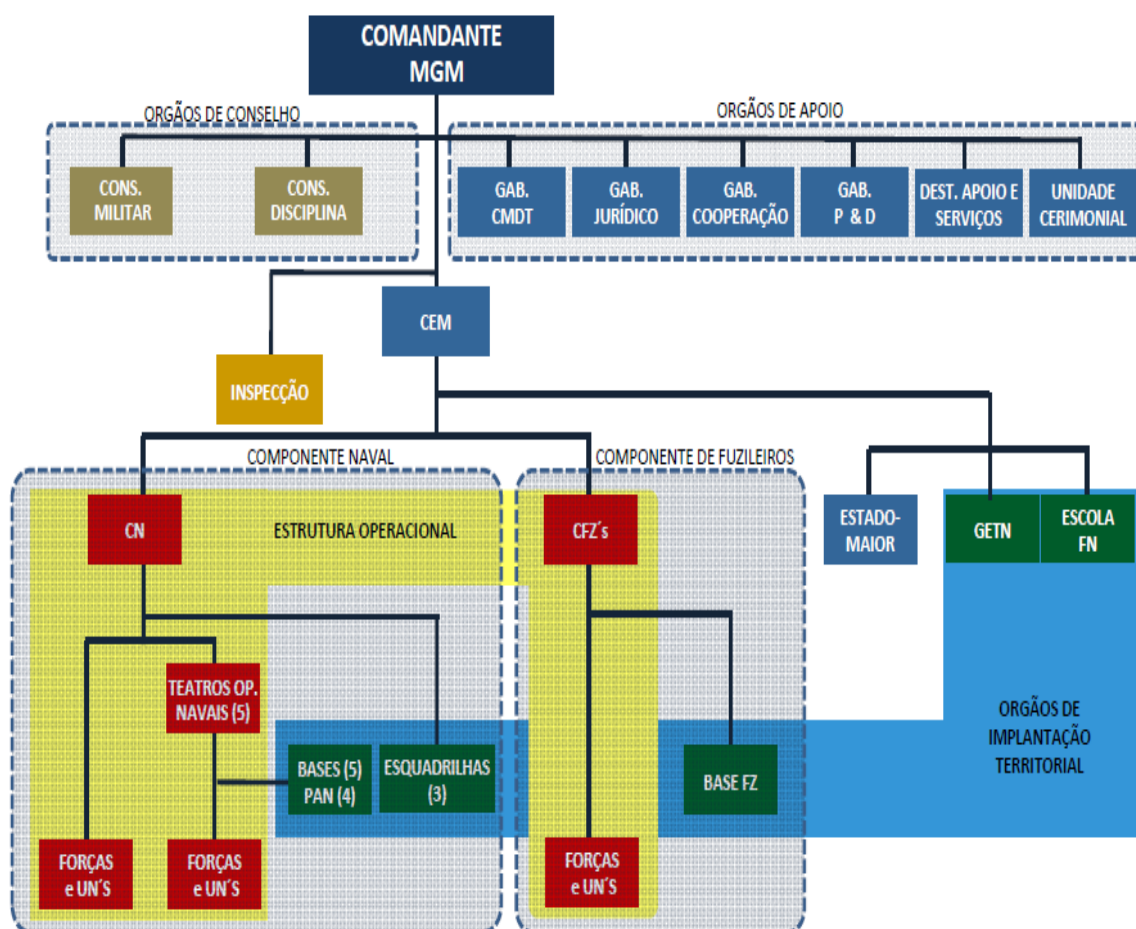


Ilustração 2. Estrutura Orgânica da MGM⁸..

Distribuir o material significa satisfazer fisicamente uma necessidade determinada no início do ciclo logístico. A distribuição dos materiais aos órgãos de base poderá obedecer duas grandes vertentes. Numa primeira fase, os materiais têm como ponto partida o CA, localizado em Maputo⁹. Este comando administrativo garantidamente deverá ter todas as facilidades requisitadas pelas unidades navais. Note que a questão da logística conjunta não coloca em questão a necessidade de existência de depósitos avançados. Todavia, os materiais requisitados pelos ramos poderão ser

⁸ Fonte: Comodoro Rivas Mangrassé, Fevereiro de 2012, Apresentação no Instituto de Estudos Superiores Militares

⁹ O Comando Administrativo da Marinha de Guerra de Moçambique, é organismo responsável pela providência dos bens e serviços requisitados pelas unidades navais. Este organismo recorre a Direção Nacional de Logística e ao mercado. O CA da MGM localiza-se na Base Naval de Maputo.

armazenados nas respetivas unidades logísticas (Repartições Logísticas), caso se verifique a disponibilidade ou capacidade de armazenagem.

Os armazéns centrais das FADM situam-se em Maputo, nas instalações da Direção Nacional de Logística. É esta unidade militar que se responsabiliza pelo processo de distribuição dos materiais requisitados pelos vários ramos, incluindo a MGM.

Contudo, o processo logístico compreende a determinação de necessidades, ao nível dos navios da esquadra, que corresponde à identificação dos materiais necessários para o cumprimento da missão, seguida do processo de obtenção. Neste processo, os órgãos de apoio (Departamento de Logística da FADM, Comandos Administrativos ou Repartições de Logística dos Ramos) adquirem o material necessário aos diferentes fornecedores, sendo posteriormente distribuído pelas respetivas unidades e forças.

Para uma breve abordagem histórica sobre a Marinha de Guerra de Moçambique, as suas funções e organização, recomenda-se a consulta da Dissertação de Mestrado em Ciências Militares Navais, Marinha, do Aspirante Ernesto Pedro Rungo (Rungo, 2012).

Capítulo 3

Sistemas de transportes em Moçambique

3 Situação atual da rede dos transportes e vias de acesso

Em Moçambique, várias empresas operam na área dos transportes, proporcionando ao país uma dinâmica bastante recreativa a nível da sustentação e organização logística. Uma das grandes dificuldades que se preveem encontrar durante o processo de investigação, está relacionada com a falta de informação estruturada nas diversas empresas de transporte aéreo, terrestre, rodoviário e marítimo.

Existe uma grande parte de vias de comunicações que não possibilitam o transporte de qualquer tipo de material utilizando apenas um modo de transporte. O envio de material por via terrestre constitui ainda um desafio para as empresas a operar na área logística, devido ao avançado estado de degradação das vias rodoviárias. A intermodalidade de transporte é uma alternativa bastante concorrida para o escoamento dos materiais.

Em qualquer fase do processo logístico é indispensável a existência dum sistema de transporte que sirva de ligação entre os diversos pontos da cadeia de abastecimento (Carvalho, 2010). O processo da organização, planeamento e gestão de operações de transporte na cadeia de abastecimento poderão influenciar significativamente a eficácia, eficiência e os custos do processo logístico. O transporte consiste no movimento dos produtos, quer sejam matérias-primas ou produtos acabados, desde os produtores até ao consumidor final, e é, reconhecidamente, uma área crítica para o desempenho de uma cadeia de abastecimento (Carvalho, 2010, p. 193). A necessidade do transporte no âmbito da logística surge com os processos de obtenção e distribuição dos materiais requisitados pelas unidades navais ao comando administrativo de tutela. Geralmente, as matérias-primas ou produtos acabados, identificados no decorrer do processo logístico, são movimentados até aos consumidores finais por meio de quatro formas de transporte principais, nomeadamente: marítima, ferroviário, rodoviário e aéreo.

Sabendo que o país não dispõe dum sistema de transporte devidamente estruturado e viável para o escoamento dos materiais entre os vários pontos, de que forma o acentuado estado de degradação das vias de comunicação e falta de meios pode influenciar no custo e na demora?

Em Moçambique, o fraco desenvolvimento tecnológico, as deficiências dos meios e ferramentas da informática de gestão para área dos transportes e a degradação das vias de comunicação devido a um ineficaz processo de manutenção, retardam o avanço para a modernização dos serviços de transporte e das comunicações. Neste

âmbito, compete ao Ministério dos Transportes e Comunicações (MTC), *analisar, estudar e desenvolver* os estudos necessários para a inovação da área dos transportes dentro do território nacional (MTC, 2009).

3.1 Sistemas Portuários e Ferroviários

Os 799,380 km² do território moçambicano são sustentados por três Corredores Ferroviários sob a gestão da empresa Caminhos de Ferro de Moçambique (CFM), distribuídos de forma desigual a nível do país (CFM, 2011). Porém, embora estes corredores estejam ativos, não satisfazem integralmente os vários pontos logísticos nacionais que servem de elos na cadeia de abastecimento, causando desta forma uma enorme dependência entre os modos de transporte na cadeia de abastecimento. A região do país mais afetada por esta problemática localiza-se no norte de Moçambique, onde em termos de cobertura da rede ferroviária, apenas são abrangidas algumas localidades nas províncias de Nampula e Niassa. Estas províncias são ligadas pelo Corredor do Norte dos CFM.

Nos três corredores ferroviários (Norte, Centro e Sul), as respetivas linhas férreas foram construídos com o principal objetivo de transportar as mercadorias dos centros de produção ou transformação para os portos mais próximos, o que em termos práticos significa que as áreas do país menos desenvolvidas e sem qualquer centro de produção não beneficiaram do projeto numa fase inicial. Estes corredores construídos para manusear diversos tipos de mercadorias, estão atualmente a servir 6 portos¹⁰ principais, nomeadamente: Maputo, Beira, Nacala, Quelimane, Inhambane e Pemba, estando atualmente ativos os três primeiros.

Tendo em consideração a disposição dos portos com a ligação das vias férreas, presume-se que garantidamente nenhum produto ou material poderá ser transportado dum centro de abastecimento para qualquer outro centro de abastecimento, sem que no mínimo se faça transportar por dois tipos ou formas de transporte. Tendo Moçambique 2770 km de comprimento da costa marítima (Honguane, 2007, p. 1), banhada pelo oceano Índico, surge a necessidade da criação de sistemas portuários em vários regimes ou tipos que possibilitem a atracação e o reabastecimento dos navios em trânsito dentro

¹⁰ Segundo o ATLAS Geográfico de Moçambique, os seis principais portos são de influência regional. Estes portos que foram definidos estrategicamente, cuja finalidade é o escoamento dos matérias ou matérias servirão para o presente estudo de possíveis pontos de abertura de centros de abastecimento para os navios da esquadra.

do Canal de Moçambique. Estes portos servirão de igual forma como pontos de atracação para os navios da Marinha de Guerra de Moçambique a operar nas proximidades.

O estudo das infraestruturas e das características de que dispõe poderá ser relevante para definir quais as facilidades que cada um destes poderá fornecer aos navios. Desta forma, a informação relativa as infraestruturas portuárias e ferroviárias poderão ser consultadas na Página Oficial da Empresa Caminhos de Ferro de Moçambique E.P. (CFM, 2011).

3.1.1 Sistemas Marítimos, Aéreos e Rodoviários

O transporte marítimo surge como uma solução quase obrigatória para o transporte de produtos ao longo da costa, mesmo para distâncias relativamente curtas, uma vez que não existe um eixo rodoviário Norte-Sul com qualidade suficiente, mas não se aplica para o presente estudo uma vez que os meios navais são depósitos avançados dos Comando Administrativo.

A solução aérea, apesar dos seus custos elevados, é utilizada por quase metade das organizações, o que pode ser consequência do esforço de redinamização e reestruturação que tem vindo a ser efetuado pelas Linhas Aéreas Moçambicanas, no sentido de melhorar o seu serviço e reduzir a sua estrutura de custos, não só para transporte de passageiros mas também para transporte de mercadorias (LAM, 2013).

O recurso ao transporte rodoviário, apesar das más condições das vias rodoviárias, é uma solução alternativa, uma vez que as restantes opções, pela sua própria natureza, não permitem um serviço completo de ponto de origem a ponto de consumo, sendo sempre necessário recorrer a transporte rodoviário, mesmo que de uma forma complementar.

Questiona-se neste ponto, o facto de apenas 7% (LAM, 2013), das empresas recorrerem aos armazéns subcontratados, quando é notório, pela estrutura de modos de transporte utilizados, que as mercadorias, nomeadamente as transportadas por via marítima, aérea e ferroviária, a menos que sejam imediatamente entregues ao transportador, necessitarão de armazenamento intermédio, mesmo que de duração não muito prolongada, antes de canalizadas para o seguinte modo de transporte.

O transporte aéreo em Moçambique é assegurado por um vasto universo de empresas nacionais e estrangeiras, autorizadas a operar no território nacional de acordo com as regras do MTC e das instituições sobre a tutela deste.

Na verdade, se houvessem dados sobre todos os sistemas de transporte, as companhias disponíveis, os prestadores de serviços e agentes logísticos atualizados, no final do projeto poderia deduzir-se qual seria o modo de transporte que melhor satisfaz a cadeia de abastecimento na ótica benefício/custo e tempo de espera? Para responder a questão poderão formular-se vários critérios de avaliação, todos ligados entre si através das variáveis custo e tempo de espera, ou seja:

- a. *O transporte implica elevado gasto de tempo e reduzido custo*
- b. *O transporte implica elevado gasto de tempo e elevado custo*
- c. *O transporte implica reduzido gasto de tempo e reduzido custo*

Qualquer das três alternativas é válida dependendo das necessidades dos navios ou unidades em terra e do nível de urgência para a satisfação da necessidade. Mas, em casos normais de requisição de material a um determinado centro de abastecimento, a alternativa 3 será a desejada, atendendo que se trata dum problema de otimização onde a função é multiobjectivo (custo e demora). Por outro lado, dependendo do preço ou custo de envio de material, a utilização dos transportes terrestres poderá ser a mais eficiente por exemplo quando se pretender enviar grandes quantidades de material para pontos bastante longínquos. O preço de envio de material por via terrestre é sempre mais baixo que por qualquer outra forma. Associa-se a problemática da gestão dos transportes terrestres, a falta de empresas com uma vasta experiência e capacidade para operações logísticas de grande dimensão, sendo que maior parte das empresas, são pequenas e médias empresas e organizações particulares que prestam serviços de distribuição de material a custo reduzido.

3.2 A intermodalidade

A escolha do meio de transporte é uma decisão fundamental da gestão dos transportes numa cadeia de abastecimento. A importância desta escolha associa-se ao tráfego e a complexidade das vias de acesso local. Qualquer decisão passa pelo balanceamento entre os custos de transporte e a qualidade do serviço da empresa

prestadora, o que exige o domínio de fatores de natureza operacional e das características dos meios de transporte (Carvalho, 2010).

Segundo Ballou (2004), a intermodalidade é uma solução integrada por mais do que um modo de transporte para assegurar a movimentação eficiente dos materiais, quer promovendo a redução dos custos, quer complementando percursos, marítimo e rodoviária, ferroviário e rodoviário, aéreo e rodoviário.

Em Moçambique a intermodalidade ainda que não se constitua a forma mais eficaz, é sem dúvida mais eficiente do que optar por um único modo, devido ao facto de determinados teatros de operações da MGM carecerem de um determinado modo de transporte (marítimo, rodoviário, ferroviário, aéreo), isto é, zonas onde determinadas modalidades de transporte não se aplicam. Desta forma, sendo a intermodalidade uma opção de escoamento das mercadorias entre os centros de abastecimento, quais as limitações impostas por esta?

3.2.1 As desvantagens da intermodalidade

Uma das desvantagens da intermodalidade poderá ser a quebra do material durante o manuseamento, na transferência deste entre um tipo de transporte e outro. Geralmente, o risco associado a este modo de transporte está diretamente ligado a existência ou não de um único contrato de transporte. Se a MGM tiver que contratar vários fornecedores de serviços de transportes (modos diferentes) a dada altura poderá não saber onde se encontra uma determinada carga, ou seja, precisa de um sistema de informação capaz de atualizar constantemente os seus dados, caso contrário não conseguirá garantir a satisfação das necessidades dos navios em tempo adequado e por vezes nas qualidades desejadas (material perecível). São desvantagens da intermodalidade: a movimentação das cargas entre modos de transporte que com frequência, está condicionada à disponibilidade e equipamentos o que introduz *atrasos* no processo e aumenta os riscos de perdas; *custos* elevados dos terminais onde decorrem essas operações; exigência de um elevado grau de coordenação entre os vários agentes intervenientes e de uma elevada integração da responsabilidade na gestão da cadeia de abastecimento (Carvalho, 2010, p. 198).

Para ultrapassar esta barreira imposta pela intermodalidade, a MGM deverá exercer um controlo eficiente e detalhado no processo de contratação das empresas de

transporte, tendo como principal aspeto a uniformização das cargas com recurso a contentores e paletes, o que permitirá reduzir drasticamente os tempos e custos associados as operações de cargas e descargas em movimentos de trasbordo dum meio para o outro de transporte.

Para ultrapassar esta barreira imposta pela intermodalidade, a MGM deverá exercer um controlo eficiente e detalhado no processo de contratação das empresas de transporte, tendo como principal aspeto a uniformização das cargas com recurso a contentores e paletes, o que permitirá reduzir drasticamente os tempos e custos associados as operações de cargas e descargas em movimentos de trasbordo dum meio para o outro de transporte.

3.2.2 As vantagens da intermodalidade

Moçambique dispõe de várias formas de transporte para o escoamento das mercadorias que sustentam o processo da intermodalidade, cujas vantagens são: aumento da competitividade entre as empresas de transporte logístico a operar em diversas áreas; racionaliza a atividade logística e incentiva a comunicação entre os elementos de cada um dos modos de transporte, cria a oportunidade de redução dos custos e permite a otimização das operações.

3.3 Pontos possíveis e portos de atracação

O conjunto de informações fornecidas pela Direção de Abastecimento da Marinha Portuguesa serão utilizadas na parte da determinação dos principais grupos de material a ter num determinado teatro de operações e as quantidades mínimas a armazenar por ano

Um Ponto de Apoio Naval só justifica a sua existência se provar-se por simulação que o funcionamento deste minimiza as demoras de fornecimento, desde a emissão da requisição até á entrega do material a bordo e de igual forma se minimizar o custo inerente ao serviço.

Assim, tornou-se necessário definir os portos onde existem as facilidades de acesso. É importante neste ponto conhecer a localização dos PALA da Marinha de Moçambique definidos nos termos da Lei, conforme a tabela que se segue:

T. Operações	Províncias	Portos	Ponto de Apoio Logístico
Lago Niassa	Niassa	Metangula	Base Naval de Metangula
Norte	Cabo Delgado Nampula	Mocímboa da Praia Pemba Nacala	Ponto de Apoio Naval Moc. Da Praia Base Naval de Pemba Ponto de Apoio Naval de Nacala
Centro	Zambézia Sofala	Macuze Beira	Ponto de Apoio Naval de Macuze Base Naval de Beira
Tete	Tete	Tete	Base Naval de Tete
Sul	Inhambane Maputo	Inhambane Maputo	Ponto de Apoio Naval de Inhambane Base Naval de Maputo

Ilustração 3. Localização dos locais possíveis de abertura dos PALA¹¹.

Os teatros de operações da Marinha de Guerra de Moçambique encontram-se devidamente identificados ao longo da costa e das águas interiores. A carta com indicação dos teatros de operações, províncias, portos e pontos de apoio logístico encontra-se em Anexo 5.

Para melhor otimizar os custos de transporte das mercadorias e tendo em atenção o capítulo anterior sobre o *Sistema de Transportes em Moçambique*, tornou-se indispensável o levantamento das demoras e dos preços entre os vários locais possíveis para abertura dos PALA, ao longo da cadeia de abastecimento. A partir destes preços foram estimados os custos de envio de material por *metro cúbico* ou *quilograma*. Nesta fase é preciso relembrar que os materiais a serem pedidos pelos navios tem uma série de características diferentes. Esta diversidade de tamanho e estruturas, fez com que a Marinha Portuguesa agrupasse dentro dum determinado grupo as respetivas unidades de fornecimento (UMB), conforme mostra a tabela em Anexo 3.

¹¹ Fonte: Adaptação do autor.

Capítulo 4

A informação e o Sistema de Apoio à Decisão

“Só sabemos com exatidão quando sabemos pouco, à medida que vamos adquirindo conhecimentos, instala-se a dúvida.”

Johann Goethe

4 Investigação Operacional

O ensino da investigação operacional a nível universitário efetua a modelação dos problemas, passando-os do mundo real para o mundo numérico, resolve-os por métodos matemáticos e finalmente efetua a interpretação dos resultados e a sua aplicabilidade aos problemas do quotidiano. Por exemplo a utilização dos conhecimentos lecionados na disciplina de *Análise Operacional*, no 3º ano do ciclo de formação dos alunos da Escola Naval Portuguesa, para a análise dos vários problemas de otimização, localização, previsão e outros que tem vindo a testar as capacidades de resposta da Marinha Portuguesa.

Na fase de modelação do problema de combinação linear, verificou-se que as expressões que definiam as restrições e a função objetivo se relacionavam a partir de variáveis de decisão lineares. A função multiobjectivo é composta por dois critérios de otimalidade: o custo e a demora dos transportes de mercadorias.

4.1 Recolha dos dados

Um dos problemas associados à recolha de dados reais prende-se com a credibilidade destes, carecendo normalmente de alguma análise e tratamento que possibilitem uma utilização adequada. Um dado por si só, não tem interesse para uma investigação. É indispensável que os dados sejam devidamente organizados e preparados para que se transformem em informação. Esta informação, quando devidamente validada e tratada, poderá traduzir-se em conhecimento. Portanto, os dados tratados geram informações e, as informações quando são credíveis geram conhecimento.

Os dados recolhidos para a presente investigação são na maioria provenientes de balcões de atendimento das instituições transportadoras e prestadoras de serviços de apoio logístico. Os dados reais sobre os custos e demoras foram recolhidos em Setembro de 2012 em Maputo, e os registos dos pedidos de transferência de materiais em Fevereiro de 2013, em Portugal junto à MP.

A maior parte, são dados referentes aos custos de transporte de mercadorias entre as diversas regiões do país, custos de abertura de armazéns ao longo da costa, custos médios de envio de mercadorias, custos de manutenção e funcionamento de armazéns. Estes custos não são fixos, sofrendo alterações temporais.

Os dados fornecidos por estas organizações são na maioria pouco credíveis, com grandes variações ao longo do ano. Nalguns casos, devido à natureza do pedido, sofreram alterações para que não comprometessem as respetivas organizações. Portanto, para a utilização destes dados, foi preciso compará-los com outros disponíveis via internet a fim de obter um valor médio de referência. Os dados referentes aos preços dos transportes aéreos e de envio por correio são os únicos cujas origens se encontram devidamente definidas e que obedecem a sistemas de controlo interno adotados pelas Linhas Aéreas de Moçambique e Correios de Moçambique.

Para a presente investigação não foram considerados como cruciais os preços dos transportes de passageiros e de mercadorias por via dos Caminhos de Ferro de Moçambique, uma vez que esta organização possui linhas estritamente direcionadas ao escoamento de produtos entre os principais portos e as cidades dos países vizinhos. Em Moçambique, a rede ferroviária é pouco utilizada para o transporte interno de mercadorias ou passageiros, sendo maioritariamente usada na deslocação das matérias-primas entre centros de produção e os países da SADC¹². No Capítulo 3 foram abordados os problemas que levam os agentes logísticos a recorrer à intermodalidade para o transporte das mercadorias.

Os dados sobre os transportes rodoviários foram recolhidos junto das bilheteiras localizadas no terminal dos transportes interprovinciais da Cidade de Maputo, “Terminal Rodoviário da Junta”, e devidamente tratados para efeitos de aplicação na presente investigação. Neste âmbito, foram recolhidos os dados de cerca de 10 empresas transportadoras regionais, interprovinciais e semicolectivos de passageiros, dentre as quais a TRICAMO, LEÃO, OLIVEIRA, MANINGUE NICE, ETRAGO, MECULA.

É importante salientar que a falta de sistemas de informação por parte de várias empresas a operar na área de transporte, conduziu a que os dados fornecidos fossem adaptados pelo signatário. Algumas das empresas com ou sem sistemas de informação para a gestão dos transportes, não se mostraram disponíveis a fornecer os dados, sendo que para estes casos, se recorreu a informação existente na internet. Em casos onde não se verificou qualquer informação sobre preço ou custos na internet, recorreu-se à

¹² SADC: Southern Africa Development Community. Segundo a informação disponibilizada na página oficial, a Comunidade para o Desenvolvimento da África Austral foi fundada em 1992 em substituição da Conferência de Coordenação para o Desenvolvimento da África Austral (SADCC), fundada em 1980. Fazem parte desta organização 14 países do Sul de África.

estimativa destes, para a utilização exclusivamente académica, devendo ser analisados detalhadamente e substituídos para a aplicação no futuro.

Os dados inerentes aos custos dos transportes marítimos e fluviais são relevantes para a presente investigação. O transporte marítimo geralmente enverga processos logísticos e facilidades que em Moçambique apenas são encontrados nos principais portos, ou de influência regional. Tendo em consideração o tipo de meios com que opera a Marinha de Guerra de Moçambique não se justifica o envio de material por via marítima.

Embora já existam alguns dados reais, todos os restantes dados utilizados no presente trabalho são suscetíveis de serem substituídos ou atualizados por outros dados reais caso se verifique a necessidade.

4.2 Tratamento dos dados

Como foi anteriormente referido, os dados fornecidos pelas diferentes organizações careciam de tratamento e formatação para o uso académico. Deste modo, todos os dados recolhidos foram analisados e formatados em *Microsoft Excel 2007*, de forma a uniformizar a informação.

As tabelas de custos e preços foram adaptadas para serem utilizadas em *Matlab*¹³. As tabelas de demoras foram construídas a partir de dados recolhidos dum processo de simulação e adaptadas de igual forma para serem carregadas para o *Matlab*. Todas as tabelas discriminam custos em *Metical*, moeda da República de Moçambique.

4.3 Custos e demoras dos transportes aéreos

A tabela de custos dos transportes aéreos tem como base os preços médios praticados pelas Linhas Aéreas de Moçambique, E.P. Esta tabela de preços corresponde ao preço de envio do material por quilograma. Neste caso em concreto as tabelas reportam o preço médio praticado entre 01 de Janeiro de 2013 e 01 de Junho de 2013. Os preços do envio de mercadoria não variam ao longo do ano.

¹³ *Matlab*: é uma poderosa ferramenta de computação numérica, com um ambiente de trabalho de fácil utilização e uma potente capacidade para realização de cálculo matemáticos de forma interativa. Fornece uma linguagem de programação própria, que permite o desenvolvimento de programas mais simples e compactos do que quando desenvolvidos nas tradicionais linguagens de programação. Este *software* é mantido e comercializado pela *MathWorks*, sediada em Massachusetts, nos Estados Unidos da América (Matsumoto, 2003)

Na tabela 1 é discriminado o preço por quilograma de envio do material dum local (possível ponto de abertura de centros de abastecimento) para outro. É importante ter em atenção que os locais de abertura de centros de abastecimento coincidem sempre com os locais de procura, e sempre que a partida e o destino forem iguais, o custo será nulo.

Sempre que o destino da mercadoria for uma área onde não será possível utilizar o transporte aéreo devido a falta de meios de acesso, a mercadoria deverá ser transportada por meio da intermodalidade (vide Capítulo 3). Durante a recolha dos dados verificou-se a diferenciação dos preços entre os materiais normais e os perecíveis, facto que não foi considerado relevante para a presente investigação uma vez que variam em valores muito baixos.

CUSTOS	MAPUTO	BEIRA	TETE	PEMBA	METANGULA	MOCIMBOA	NACALA	INHAMBANE	INHAMBANE
MAPUTO	0,0	16,8	16,8	18,9	16,8	18,9	18,9	28,0	12,7
BEIRA	28,0	0,0	12,7	18,9	16,8	18,9	18,9	16,8	16,8
TETE	37,3	16,8	0,0	12,7	12,7	12,7	12,7	16,8	37,3
PEMBA	46,7	21,0	21,0	0,0	12,7	12,7	12,7	18,9	46,7
METANGULA	46,7	21,0	21,0	18,9	0,0	18,9	16,8	16,8	46,7
MOCIMBOA	46,7	21,0	21,0	12,7	12,7	0,0	12,7	46,7	46,7
NACALA	46,7	21,0	21,0	12,7	12,7	12,7	0,0	12,7	46,7
MACUZE	37,3	16,8	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	0,0	28,0
INHAMBANE	21,7	16,8	16,8	18,9	16,8	18,9	18,9	28,0	0,0

Tabela 1. Relação dos preços de transporte aéreo em Moçambique (preços em Meticais)¹⁴.

A tabela 2, com demoras dos transportes aéreos tem como base os horários praticados pelas Linhas Aéreas de Moçambique, E.P. Esta tabela discrimina o tempo em minutos para a duração dos percursos entre vários pontos. As tabelas reportam a demora praticada em cada percurso para o horário disponibilizado entre 01 de Janeiro de 2013 e 01 de Junho de 2013.

É importante anotar que sempre que a partida e o destino forem iguais, a demora será nula.

¹⁴ Fonte: Adaptação do autor.

MINUTOS	MAPUTO	BEIRA	TETE	PEMBA	METANG	MOCIMBOA	NACALA	MACUZE	INHAMB
MAPUTO	0	160	100	150	220	150	125	120	55
BEIRA	160	0	60	175	155	175	155	60	95
TETE	100	60	0	160	55	160	90	55	130
PEMBA	150	175	160	0	75	60	50	75	95
METANGULA	220	155	55	75	0	75	55	60	245
MOCIMBOA	150	175	160	60	75	0	50	75	95
NACALA	125	155	90	50	55	50	0	55	200
MACUZE	120	60	55	75	60	75	55	0	175
INHAMB	55	95	130	95	245	95	200	175	0

Tabela 2. Relação das demoras de transporte aéreo em Moçambique (tempo em minutos)¹⁵.

4.4 Custos e demoras dos transportes rodoviários

A tabela 3, com preços dos transportes rodoviários, contém o preço mínimo praticado pelas várias empresas transportadoras de semicolectivos e interprovinciais de passageiros, a operar em Moçambique. Os preços são referentes ao dia 21 de Setembro de 2012.

Nesta tabela, encontram-se discriminados os preços por quilograma a transportar entre quaisquer dos destinos. A grande vantagem da utilização dos transportes rodoviários é associada ao facto dos preços serem mais reduzidos que qualquer outra forma (aplicável em Moçambique), em contrapartida a desvantagem será a demora que a mercadoria leva a chegar ao destino (centro de abastecimento).

CUSTOS	MAPUTO	BEIRA	TETE	PEMBA	METANG	MOCIMBOA	NACALA	MACUZE	INHAMB
MAPUTO	0,0	12,5	13,0	28,0	30,0	30,0	25,0	17,0	5,5
BEIRA	12,5	0,0	6,5	15,0	17,0	17,0	13,0	9,0	6,5
TETE	13,0	6,5	0,0	20,0	25,0	22,0	17,0	10,0	8,5
PEMBA	28,0	15,0	20,0	0,0	7,0	2,0	3,5	8,0	25,0
METANGULA	30,0	17,0	25,0	7,0	0,0	9,0	7,0	13,0	30,0
MOCIMBOA	30,0	19,0	22,0	2,0	9,0	0,0	5,5	10,0	28,0
NACALA	25,0	13,0	17,0	3,5	7,0	5,5	0,0	5,2	26,0
MACUZE	17,0	9,0	10,0	8,0	13,0	10,0	5,2	0,0	19,0
INHAMB	5,5	6,5	8,5	25,0	30,0	27,0	26,0	6,5	0,0

Tabela 3. Relação dos Custos de transporte rodoviário em Moçambique (preços em Meticais).

A tabela 4, com as demoras dos transportes rodoviários, contém a duração média dos percursos das empresas transportadoras de semicolectivos e interprovinciais de passageiros, entre os destinos neles discriminados. Os dados recolhidos juntos aos

¹⁵ Fonte: adaptação do autor.

balcões de atendimento ou postos de venda de bilhetes, são referentes ao dia 21 de Setembro de 2012. A tabela discrimina a duração entre pontos em minutos, isto é, o tempo que o transporte rodoviário leva dum ponto para o outro a uma velocidade média de 40km/h. Os tempos previstos na tabela 4 incluem as demoras das paragens para reabastecimento e descanso do condutor.

Havendo ligação rodoviária entre os vários pontos do país, apenas os campos onde a partida e o destino são iguais terá o valor nulo.

MINUTOS	MAPUTO	BEIRA	TETE	PEMBA	METANG	MOCIMB	NACALA	MACUZE	INHAMB
MAPUTO	0	927	1161	2040	1672	2278	2073	1652	615
BEIRA	927	0	431	1242	900	1480	1258	848	1011
TETE	1161	431	0	982	534	982	1004	593	845
PEMBA	2040	1242	982	0	586	238	687	864	1740
METANGULA	1672	900	534	586	0	824	892	799	1375
MOCIMBOA	2278	1600	1220	238	824	0	925	1222	2098
NACALA	2091	1258	1004	687	780	925	0	600	1640
MACUZE	1652	848	593	864	911	1102	1012	0	1324
INHAMB	375	611	845	1740	1375	1978	1640	1324	0

Tabela 4. Relação das demoras de transporte rodoviário em Moçambique (tempo em Meticais)¹⁶.

4.5 Dados do SIGDN

A Direção de Abastecimento da Marinha Portuguesa é o organismo de direção técnica na área do material¹⁷. Qualquer pedido de fornecimento de material para o uso nos navios da Marinha Portuguesa deverá ser registado no sistema informático, sendo preciso criar um processo de compra (caso a DA não tenha o material no armazém) para a aquisição direta ao mercado. Os pedidos de fornecimento de material são tratados por pedidos de transferência (PT)¹⁸, e são registados no SIGDNO SIGDN divide a lista do material (catalogado) em 29 grupos de mercadorias. Cada um destes grupos poderá ser pedido a qualquer momento. Todavia, para saber quais os grupos de mercadoria que deverão os centros de abastecimento fornecer é necessária criar um modelo para a previsão dos pedidos. Desta forma, será necessário prever:

- a. Quais são os grupos de mercadorias pedidos mensalmente?

¹⁶ Fonte: adaptação do autor.

¹⁷ Decreto Regulamentar n.º 23/94, de 01 de Setembro, no art.º 23.º especifica as competências da Direção de Abastecimento da Marinha Portuguesa.

¹⁸ O conceito de pedido de transferências de material está relacionado com o facto dos paios dos navios da Marinha Portuguesa serem consideradas depósitos avançados da Direção de Abastecimento.

- b. Para um determinado grupo de mercadoria, quantos pedidos são feitos mensalmente?
- c. Qual é a quantidade (peso) dos grupos de mercadorias pedidos mensalmente?

A tabela 5 é o exemplo dos dados disponibilizados a partir do SIGDN, pela Direção de Abastecimento da Marinha Portuguesa.

...

Doc.compra	Itm	Material	Texto breve	Qty.	UMB	Forneci	Data doc.	Material	Grp.merc	Preço líq.
362032124	10	7530NI0109751	PAPEL BRANCO DE F	25	RM	25	12.01.2010	7530NI0109751	12	2,48
362032125	10	6810NI7023008	ALCOOL ETILICO 96%	24	VI	0	12.01.2010	6810NI7023008	9	0,43
362032125	20	6810MD0175922	ALCOOL ETILICO 96%	24	VI	24		6810MD0175922	9	0,63
362032126	10	8105NI0109447	SACO PARA LIXO	110	TE	110	12.01.2010	8105NI0109447	29	0,53

.Tabela 5. Dados extraídos do SIGDN antes do tratamento¹⁹.

A tabela 5 corresponde a uma parte dos dados disponibilizados. Caso esta tabela estivesse completa teria 2989 linhas e 12 colunas. Como se pode notar, nem todos os dados foram precisos para modelar as necessidades dos navios. Assim, a tabela 5 deu origem a tabela 6 que contém as colunas necessárias para modelar os pedidos mensais de fornecimento de mercadorias:

Descrição do material	Quantidade	UMB	Data doc.	Grp.merc.
HOUSING CAMSHAFT	2	EA	24.07.2008	17
PLUG,PIPE	2	EA	24.07.2008	17
CAMSHAFTS,ENGINE	1	EA	24.07.2008	17
TAPPET ENJECTOR	7	EA	24.07.2008	17
TAPPET VALVE	13	EA	24.07.2008	17
BELTS,V,MATCHED SET	1	EA	24.07.2008	17
BUSHING,PIPE	4	EA	23.09.2008	17
CONNECTION,E,HAUST	1	EA	23.09.2008	17
PANEIROS	1	EA	26.11.2008	17
BELTING,V,ADJUSTABLE LIN	2	EA	10.12.2008	17
BOIA DE SALVAÇÃO CIRCUL	2	EA	21.04.2010	17
STARTER MOTOR	1	EA	11.06.2010	17
BELT,V	1	EA	30.11.2010	17
ROLAMENTO RIGIDO DE ES	1	EA	13.12.2010	17

Tabela 6. Dados extraídos do SIGDN depois do tratamento²⁰

¹⁹ Fonte: Direção de Abastecimento da Marinha Portuguesa. Extraídos em 26 de novembro de 2012.

A tabela 6 contém 2989 linhas e 5 colunas; apenas estes dados são necessários para modelar os pedidos de fornecimento de material. Porém, a coluna 4 que contém a data foi utilizada para a separação dos pedidos por meses. O tratamento destes dados foi feito no Matlab, tendo-se elaborado um conjunto de instruções (vide o código em Anexo 7), que colmatam as lacunas resultantes da formatação, falha no registo dos dados e ausência de dados.

Todavia, após o tratamento dos dados, verificou-se que havia meses em que não se registaram pedidos e outros meses em que foram registados pedidos em grandes quantidades para alguns grupos de mercadoria. Em alguns casos, num mesmo mês foram registados pedidos apenas durante o primeiro ano, ou seja, não havia regra para a requisição dos materiais; o material podia ser pedido a qualquer dia, mês ou ano.

Tratando-se do universo de 2989 requisições agrupados em 29 tipos de mercadoria, de que forma se distribuíam os pedidos?

É importante perceber que um determinado grupo de mercadoria poderá fornecer dezenas de matérias. Os materiais que fazem parte dum mesmo grupo de mercadoria são diferenciados através do Número Nacional de Abastecimento (NNA). Desta forma, um grupo poderá ter vários NNA atribuídos para materiais com características bastante semelhantes.

Tendo em conta as amostras em estudo, verificou-se que não havia qualquer regra nos intervalos entre requisições do mesmo tipo de material. Colocou-se em hipótese a possibilidade de ser utilizada um tipo de distribuição estatística que pudesse gerar um número máximo de pedidos por cada grupo de mercadorias num determinado mês. Esta distribuição podia definir os quantitativos em peso para cada um dos 29 grupos de mercadoria. A distribuição do número de pedidos de fornecimentos poderá ter uma distribuição padronizada, com uma probabilidade de se receber um determinado pedido de fornecimento para o grupo de mercadoria j , assim como o erro associado ao facto desse pedido ser ou não satisfeito.

²⁰ Fonte: Adaptado do autor a partir do MATLAB.

4.6 Justificação da escolha do programa Matlab

O Matlab, produzido pela The Math Works Inc., é uma ferramenta informática concebida para problemas de engenharia e matemática aplicada. Esta ferramenta foi criada com o principal objetivo de oferecer aos utilizadores técnicas de resolução de problemas baseadas em técnicas matriciais, sem que estes tenham de escrever extensos programas em linguagem clássica.

A decisão de escolha do Matlab é baseada na simplicidade dos seus comandos, muito idênticos à forma como são escritas as expressões algébricas em matemática, à sua velocidade de cálculo e à grande precisão numérica. O programa Matlab na sua versão 2011.b, caracteriza-se por providenciar um excelente programa de ensino de diversas disciplinas, como a Análise Numérica, Métodos Numéricos, Controlo, Simulação.

A maioria das operações no programa é realizada diretamente sobre a área de trabalho. Os comandos simples e intuitivos permitem que o programa seja relativamente fácil de interpretar.

Capítulo 5

Modelação do problema

“Um problema sem solução é um problema mal colocado.”
Ralph Waldo Emerson

5 A informação como base do sistema

A qualidade das informações sobre as requisições de material dos navios da Marinha de Guerra Portuguesa melhorou bastante após a implementação do Sistema Integrado de Gestão da Defesa Nacional (SIG-DN).

A organização dos dados sobre os *pedidos de transferência* dos navios é efetuada dentro do sistema em bases de dados eletrónicas há mais de nove anos.²¹ Devido ao crescimento do número de dados tornou-se relevante separar as informações relevantes das irrelevantes, de forma a modelar o controlo destas. O objetivo da modelação da informação baseia-se na criação de ferramentas que permitam que estas sejam analisadas detalhadamente sempre que necessário.

Uma base de dados modelada permite que o utilizador analise as informações, avalie os critérios de decisão e posteriormente vá influenciar o processo de tomada de decisão (Lachtermacher, 2004, p. 6). É importante salientar que a decisão que o utilizador toma em muitos casos não é a decisão ótima, mas a mais adequada mediante a análise do problema. Portanto, duas opções poderão ser utilizadas de forma conjunta, para melhorar ainda mais o processo de tomada de decisão; a intuição do tomador de decisão deve ajudá-lo na seleção das informações relevantes, nos possíveis cenários a serem estudados, na validação do modelo e na análise dos resultados deste modelo.

Em suma, uma decisão pode-se entender como o processo de identificar um problema ou uma oportunidade e selecionar uma linha de ação para resolvê-lo (Lachtermacher, 2004, p. 4). Um processo de tomada de decisão segue a seguinte estrutura:

²¹Sistema Integrado de Gestão da Defesa Nacional, utilizado pela Marinha Portuguesa desde 2008, para a gestão logística e financeira.

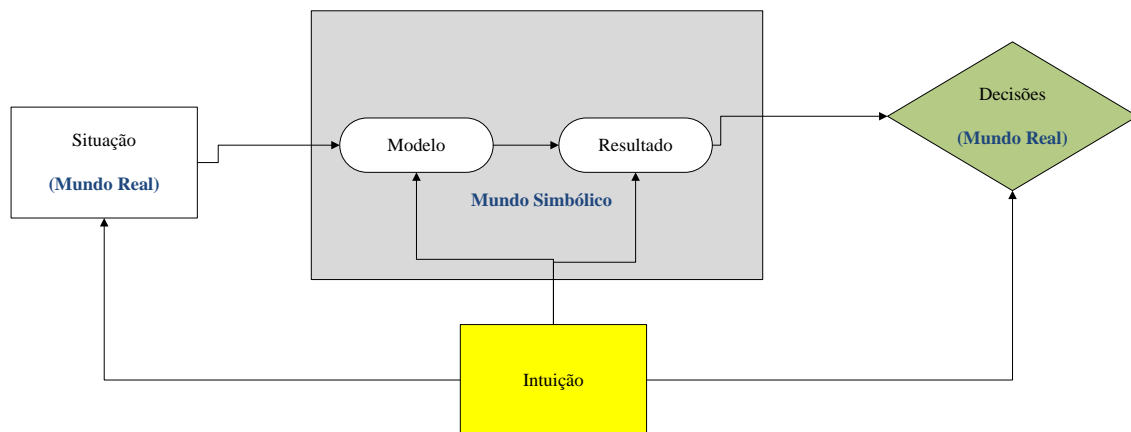


Ilustração 4. Processo de tomada de decisão²².

Neste conjunto de procedimentos o objetivo é carregar os dados sobre os custos e demoras para o programa. Cada tabela pertence a um ponto possível de abertura de centros de abastecimento.

Entretanto, uma oportunidade ocorre quando as circunstâncias oferecem a possibilidade de o indivíduo ou organização ultrapassar os seus objetivos e/ou metas. Assim, segundo Lachtermacher (2004), vários fatores condicionam a tomada de decisão e entre eles destacam-se:

- a. Tempo disponível para a tomada de decisão
- b. A importância da decisão
- c. O ambiente / meio envolvente
- d. Certeza/incerteza e risco
- e. Agentes decisores
- f. Conflito de interesses.

Neste caso de estudo, a importância da decisão centraliza-se na implementação das facilidades logísticas nos vários centros de abastecimento da Marinha de Guerra de Moçambique, tendo em atenção as restrições económicas e temporais.

A dimensão da informação disponibilizada pela Direção de Abastecimento da Marinha de Guerra Portuguesa é extensa, sendo que o tamanho da amostra recolhida deu origem ao acréscimo do *risco e incerteza*²³ dos agentes decisores e/ou do modelo em estudo. Assim, surge a necessidade de criar um sistema computacional cujo objetivo

²² Fonte: Adaptado de Lachtermacher (2004), pp.4.

²³ Risco é a condição para a tomada de decisão em que os administradores conhecem a probabilidade de que uma determinada alternativa leve a um objetivo ou resultado desejado (Stoner & Edward, 1985, p. 185).

é facilitar os processos de tomada de decisão operacional, de gestão e estratégico. Este sistema deverá estar em concordância com os objetivos da Logística Operacional.

A transformação dos dados sobre os pedidos de transferência do *N.R.P. Águia*, da Marinha Portuguesa passará pela seguinte estrutura:

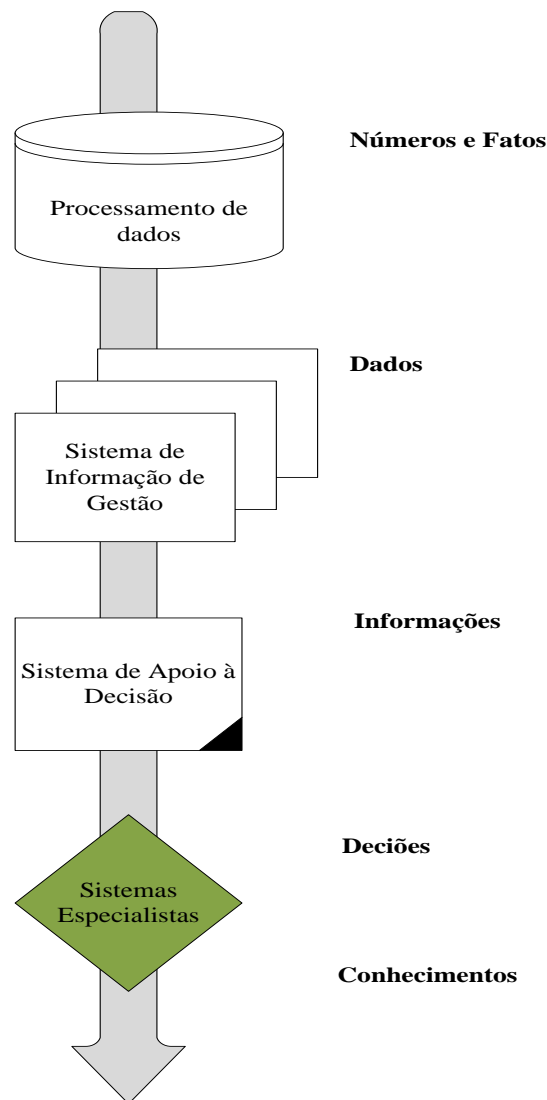


Ilustração 5. Transformação dos dados brutos em conhecimento²⁴.

²⁴ Fonte: Adaptado de Lachtermacher (Lachtermacher, 2004, p. 8)

5.1 A escolha do modelo matemático

A grande vantagem dos modelos centraliza-se no facto destes forçarem os decisores a tornarem os seus objetivos mais explícitos (Lachtermacher, 2004). No modelo que se pretende propor, o decisor deverá atribuir um coeficiente que corresponde ao grau de importância de cada objetivo (custo e demora no fornecimento).

Mediante um determinado modelo, qualquer utilizador pode utilizar eficientemente um determinado sistema de apoio à decisão. Os modelos auxiliam no reconhecimento das limitações impostas pelo meio envolvente e permitem a comunicação das ideias do decisor e o seu entendimento por parte de qualquer utilizador (formado), para facilitar o trabalho em grupo (Lachtermacher, 2004, p. 6).

Segundo Lachtermacher (2004) existem três tipos de modelos que um decisor poderá optar de acordo com o tipo de problema, nomeadamente: *os Modelos Físicos, Analógicos e Matemáticos ou Simbólicos*.

O modelo matemático é aquele em que as grandezas são representadas por variáveis e as relações entre as mesmas são feitas por expressões matemáticas. Estes modelos necessitam de informações quantificáveis, podendo a partir das informações serem agrupados em *lineares* e *não lineares* como se poderá verificar a seguir (Lachtermacher, 2004, p. 7). As duas características que levaram a escolha dum modelo matemático para a resolução da investigação em curso baseiam-se nos seguintes pontos:

- a. O Modelo Matemático ser uma representação simplificada da realidade.
- b. O Modelo Matemático permite:
 - A conversão de resultados numéricos em resultados reais;
 - A análise da solução face a variações dos dados de entrada;
 - A rápida incorporação de novas restrições ou alterações da realidade.

A área da Investigação Operacional que estuda a otimização dos recursos é denominada *programação matemática* (Lachtermacher, 2004, p. 24). Na programação matemática a quantidade a ser maximizada ou minimizada é descrita como uma função matemática de variáveis de decisão. As relações entre as variáveis são formalizadas através das restrições ao problema, expressas como equações matemáticas.

Em alguns casos devido ao facto da área da programação matemática ser muito intensa, esta, é dividida em áreas de menor escala, dependendo do tipo das funções utilizadas na função-objetivo e restrições. Deste modo, a programação matemática poderá ser definida em duas vertentes:

- a. *Programação linear* - Programação matemática em que todas as funções-objetivo e restrições são representadas por funções lineares.
- b. *Programação Não-linear* – programação matemática em que pelo menos umas das funções-objetivo, restrições, variáveis ou custos são descritas por funções não-lineares. Porém, esta programação poderá ser encontrada em alguns tipos importantes, como programação Côncava, Convexa e Quadrática.

5.2 O Programação Linear

O problema de localização dos PALA constitui um problema de otimização combinatória em que o número de soluções admissíveis, embora seja enorme, é composto por um conjunto finito. Todavia, os problemas de programação combinatória apresentam na sua estrutura as variáveis de decisão, as restrições e a função objetivo.

Um problema de programação combinatória pode-se caracterizar quanto à relação entre as variáveis de decisão na função objetivo e nas restrições em **linear** e **não linear**. O problema estudado diz-se linear porque todas as expressões que definem as restrições e a função objetivo são lineares nas variáveis de decisão (y_i, x_{ij} e z_{hij}), isto é, são combinações lineares dessas variáveis.

Por exemplo, na Equação 4, os coeficientes dessa combinação linear são definidos por $g * p_{jk} * Q_{jk} * C_{hi}$.

Por outro lado, o problema estudado é um problema de Otimização Combinatória, em que o número de soluções admissíveis, embora seja enorme, é finito. Como as variáveis de decisão só podem tomar valores inteiros (valores binários), trata-se então de um problema de *Programação Linear Inteira (PLI)*. Mas o facto de as variáveis de decisão não serem *contínuas*, não faz com que o problema seja verdadeiramente *não linear*.

Os problemas de PLI são, em geral, consideravelmente difíceis de resolver "em tempo útil", e podem ser resolvidos por métodos apropriadas, dentre os quais: Branch and Bound, Branch and Cut e Branch and Price (Aveiro, 2011). Contudo, poderão também ser resolvidos recorrendo à meta-heurísticas.

É importante perceber os conceitos que são associados aos problemas de programação linear de modo que para a tomada de decisão seja possível garantir o espaço ou intervalo onde se vai localizar a solução ótima.

Solução: qualquer especificação de valores (dentro dum domínio da função objetivo) para as variáveis de decisão, independentemente de se tratar de uma escolha desejável ou permissível.

Solução viável: uma solução em que todas as restrições são satisfeitas.

Solução ótima: uma solução viável que tem o valor mais favorável de uma função objetivo (Lachtermacher, 2004, p. 28).

5.3 Aplicação do Modelo Matemático

Considerando 9 pontos (Metangula, Mocímboa da Praia, Pemba, Nacala, Macuze, Tete, Beira, Inhambane e Maputo) disponíveis para aberturas de facilidades logísticas, representados por i , os quais coincidem com os portos de atracação dos navios atribuídos aos dispositivos navais. O fornecimento de um navio atracado num porto, a partir do centro instalado nesse porto tem custos e demora de valor zero.

$$i = \{1,2,3, \dots, 8,9\}$$

Considerando que o material requisitado pelos navios se pode agrupar em 29 grupos de mercadorias, representados por j .

$$j = \{1, \dots, 29\},$$

Considerando 3 classes de navios, representados por k .

$$k = \{1,2,3\},$$

Considerando a matriz quadrada de custos, C , dimensão 9×9 , como a matriz de custos de transporte de um **Kg** de mercadoria entre dois pontos. Esta matriz é válida para todos os grupos de mercadorias.

$$C = [9 \times 9]$$

Considerando a matriz quadrada de demoras, D , dimensão 9×9 , como a matriz de demoras no transporte de um **Kg** de mercadoria entre dois pontos. Esta matriz é válida para todos os grupos de mercadorias.

$$D = [9 \times 9]$$

Considerando o vetor Fi , como o custo de abertura unitário de uma facilidade logística no ponto i . Este custo é imputável ao início de funcionamento do local, dependendo do número de grupos de mercadorias fornecido. Caso sejam fornecidos w grupos de mercadorias em i , o valor final do custo de abertura será de $w \cdot Fi$.

Considerando o escalar m , como o custo de manutenção associado ao fornecimento de um grupo de mercadorias, englobando custos de pessoal, alimentação, salários, energia, água, limpeza e transporte de material para o navio. Para o 1º grupo de mercadorias aberto num ponto de apoio logístico, o custo será o quádruplo dos restantes. Ex: ponto de apoio i fornece um grupo de mercadorias-custo $5m$; ponto de apoio i fornece três grupos de mercadorias-custo $7m$.

Considerando P_{jk} a probabilidade de necessidade da mercadoria j por parte de um navio k . Esta probabilidade é independente em relação ao ponto ou teatro de operações onde se encontra o navio.

Considerando Q_{jk} a quantidade, em **Kg**, da mercadoria j requisitada por um navio da classe k , independente em relação ao ponto ou teatro de operações onde se encontra o navio.

5.4 Custos de abertura de instalações

O custo de abertura das instalações ocorre apenas uma vez para cada um dos portos i . Este custo é resultante da aquisição do espaço fixo para a fixação dos depósitos e do apetrechamento de forma a garantir as condições necessárias para a armazenagem. O custo de abertura das instalações é dado pela seguinte fórmula:

$$\sum_{i=1}^9 y_i f_i \sum_{j=1}^{29} x_{ij}$$

(Equação 2)

5.5 Custos de funcionamento das instalações

O custo do funcionamento é o conjunto dos objetos de custeio que serão imputados por forma a manter abertos os depósitos. Corretamente chama-se custo de manutenção e, é variável com o número de grupos de mercadorias j , disponível num ponto de apoio logístico.

$$\sum_{i=1}^9 4m_i y_i + \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^{29} m_{x_{ij}}$$

(Equação 3)

5.6 Custos de fornecimento do material aos navios

Embora as necessidades dos navios não sejam iguais para todos os meses ao longo dos 5 anos observados e considerando g meses de funcionamento da solução, o custo do fornecimento dos materiais é dado pela seguinte expressão:

$$\sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^{29} \sum_{k=1}^3 \sum_{h=1}^9 g_{pjk} Q_{jk} z_{hij} C_{hi}$$

(Equação 4)

Demora no fornecimento aos navios será dada pela seguinte expressão:

$$\sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^{29} \sum_{k=1}^3 \sum_{h=1}^9 g_{ijk} p_{jk} Q_{jk} z_{hij} D_{hi}$$

(Equação 5)

5.7 Variáveis de decisão

As variáveis de decisão estão associadas ao fornecimento de um determinado grupo de mercadorias por um determinado ponto de apoio logístico.

Considere-se x_{ij} como uma variável binária, onde $x_{ij} = 1$ significa que a facilidade existente no ponto i fornece a mercadoria j e $x_{ij} = 0$ significa que facilidade no ponto i não fornece a mercadoria j .

$$x_{ij} = \begin{cases} 0 & , \text{se a facilidade no ponto } i \text{ não fornece a mercadoria } j \\ 1 & , \text{se a facilidade no ponto } i \text{ fornece a mercadoria } j \end{cases}$$

5.7.1 Variáveis auxiliares

As variáveis auxiliares estão associadas à abertura de pontos de apoio logístico em determinados locais e ao fornecimento de material a navios localizados em locais distantes.

Considere y_i uma variável binária. Representa a abertura de um ponto de apoio logístico no local i .

$$y_i = \begin{cases} 0 & , \text{não abertura de um ponto de apoio logístico no local } i \\ 1 & , \text{abertura de um ponto de apoio logístico no local } i \end{cases}$$

Caso um ponto de apoio forneça alguma mercadoria, a correspondente variável y_i assumirá o valor 1.

Considere z_{hij} uma variável binária que representa a ação de fornecimento de mercadoria do grupo j a um navio no porto i a partir de um ponto de apoio localizado em h .

5.8 Uniformização das escalas dos dados

Os coeficientes a e b que representam o grau de importância das variáveis de decisão poderão a qualquer momento não funcionarem para o propósito pretendido se verificar uma maior discrepância de valores entre os dados carregados para o sistema (custos e demoras).

Os custos são medidos em metical e as demoras em minutos. Não existindo qualquer relação direta entre estas variáveis, torna-se indispensáveis que sejam equiparadas a mesma escala. Por exemplo, o custo de abertura varia entre os 500.000 e 900.000 meticais e a demora dos fornecimentos varia entre 0 e 220 minutos se for utilizado apenas o transporte aéreo. Esta diferença de medidas poderá afetar no funcionamento dos parâmetros a e b , pois atribuindo 50% para cada um destes, o valor da função objetivo na realidade poderá significar que fora atribuído o maior peso para o parâmetro a devido aos valores superiores que os dados dos custos apresentam. Para colmatar o problema da diferença dos valores foi necessário dividir os custos de abertura por 10.000, e os custos de funcionamento (entre 9000 e 22000) por 100. Assim, estando todos os valores reportados a uma escala entre 0 e 220 reduz-se o risco associado ao problema dos coeficientes.

5.9 Obtenção do valor dum solução

Definindo os pesos a e b , o valor da solução é dado pela equação 1, função multiobjectivo:

Valor solução = a * (custos do fornecimento + custos de abertura dos PALA + custos de funcionamento dos PALA) + b *demora no fornecimento

5.9.1 Definição de uma solução

Cada solução é definida por um vetor binário com $9*29$ valores, representando as variáveis de decisão x_{ij} . Os primeiros 29 valores correspondem aos grupos de mercadorias fornecidos no ponto de apoio logístico nº1 e assim sucessivamente:

$$x_{1_1}, x_{1_2}, \dots, x_{1_{29}}, \dots, x_{9_1}, \dots, x_{9_{29}}$$

Os valores de cada solução são obtidos aleatoriamente, rejeitando-se as soluções que não obedeçam às condições de admissibilidade das restrições 2 e 4.

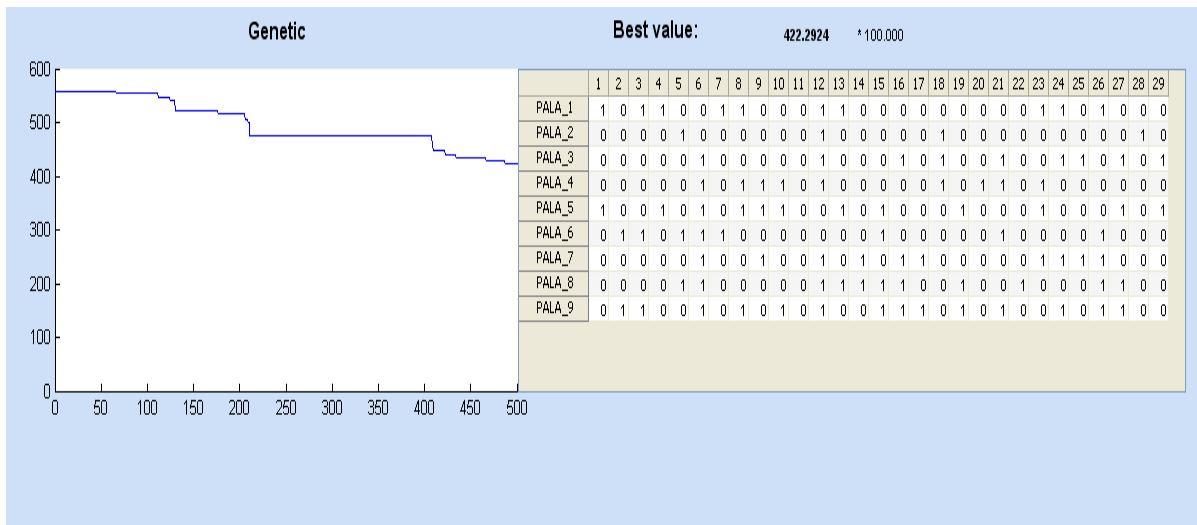


Ilustração 6. Gráfico das soluções aceitáveis e matriz de facilidades por PALA.²⁵

5.10 Função multiobjetivo

Minimizar os custos de abertura, funcionamento e fornecimento dos PALA e a demora no fornecimento dos materiais:

$$\min = \mathbf{a} * \left(\sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^{29} \sum_{k=1}^3 \sum_{h=1}^9 g_{pjkh} Q_{jk} z_{hij} C_{hi} + \sum_{i=1}^9 y_i f_i \sum_{j=1}^{29} x_{ij} + \sum_{i=1}^9 4m_{yi} + \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^{29} m_{xij} \right) + \mathbf{b} * \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^{29} \sum_{k=1}^3 \sum_{h=1}^9 g_{pjkh} Q_{jk} z_{hij} D_{hi}$$

(Equação 1)

A equação de minimização resulta do agrupamento das equações 2, 3, 4 e 5. Os coeficientes **a** e **b** representam os pesos atribuídos pelo decisor. Através destes

²⁵ O vetor da solução é aqui representado por uma matriz 9*29, em que cada linha corresponde a um PALA e cada coluna a um grupo de mercadorias. O valor 1 na célula (i,j) indica que o PALA instalado em i fornece o grupo de mercadorias j.

coeficientes, pode o decisor definir qual o principal objetivo a que quer atender (custo ou demora) na otimização. Os coeficientes relacionam-se da seguinte forma:

$$a + b = 1$$

O coeficiente a (importância dos custos) vai incidir sobre todos os custos do sistema logístico, de modo que sempre que $a=0$, então o decisor só daria importância à demora e não daria nenhuma importância ao custo.

5.11 Restrições

A primeira restrição obriga y_i a ter o valor 1 sempre que o ponto de apoio logístico situado em i forneça alguma mercadoria. O valor numérico 29 é o número de grupos de mercadorias existente.

$$29 * y_i \geq \sum_{j=1}^{29} x_{ij} \quad , \quad \forall i$$

(Restrição 1)

A segunda restrição obriga o fornecimento de todos os grupos de mercadoria, em qualquer solução.

$$\sum_{i=1}^9 x_{ij} \geq 1 \quad , \quad \forall j$$

(Restrição 2)

A terceira restrição obriga a que qualquer porto, i , possa ser fornecido de uma qualquer mercadoria, j , a partir de pelo menos um ponto de abastecimento, h .

$$\sum_{h=1}^9 z_{hij} \geq 1 \quad , \quad \forall i, j$$

(Restrição 3)

As restrições que se seguem incidem sobre as classes das variáveis

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad y_i \in \{0,1\}, \quad z_{hij} \in \{0,1\}$$

(Restrição 4)

Uma solução binária poderá ser definida por um conjunto de i vetores, cada um com j células.

Capítulo 6

Simulação e Otimização

6 Meta-heurísticas

A área das ciências exatas que estuda a otimização de recursos é denominada de programação (Lachtermacher, 2004). Nesta área a quantidade a ser maximizada ou minimizada é descrita como uma função matemática dos recursos (escassos por natureza). As relações entre as variáveis são formalizadas através de restrições ao problema expressas com equações e/ou inequações matemáticas. Nos capítulos anteriores foram abordadas algumas propostas para a resolução do problema dos pedidos de fornecimento de mercadoria.

Nos finais da década 60 vários analistas matemáticos se dedicaram a complexidades inerentes as técnicas de resolução dos problemas otimização. Nessa altura, se o problema não fosse possível de resolver a partir de algoritmos de otimização devido a dimensão da amostra e perda de tempo, a outra opção era obter soluções mais rápidas que se aproximassem das soluções ótimas. Estes métodos foram denominados *de aproximação* ou *algoritmos heurísticos*.

Os algoritmos heurísticos são na sua essência muito eficientes para problemas de análise combinatória em que as escolhas poderão resultar num elevado número de alternativas.

Todavia os problemas de otimização em que a função objetivo e as restrições envolvidas são lineares nas variáveis de decisão denominam-se Problemas de Programação Linear (PLI). As variáveis de decisão do problema em estudo só poderão tomar valores inteiros, razão pela qual é correto afirmar que trata-se dum problema de Programação Linear Inteira, como já se referiu no ponto 5.2.

Encontrar uma solução para um PLI é extremamente difícil, em muitos casos o programador não consegue encontrar um conjunto de soluções viáveis donde se possa tirar uma solução ótima. Uma forma de ultrapassar este problema pode ser a utilização das *heurísticas*. As heurísticas são algoritmos de busca entre as soluções diversas, tentando encontrar uma boa solução. Uma boa solução não é a solução ótima. As heurísticas não garantem que ao longo da resolução do problema se venha a encontrar uma solução que maximiza ou minimiza a função objetivo, mas garante uma boa solução que se aproxima suficientemente da solução ótima, como se poderá ver no capítulo a seguir.

Atualmente, os algoritmos heurísticos são utilizados em várias áreas, através de técnicas de otimização dentre as quais o *Simulated Annealing*²⁶ (baseado na análise da estatística mecânica), *Algoritmo Genético (AG)* (baseado na análise da evolução biológica), *Redes Neurais* (baseado no estudo do sistema nervoso humano) (Jaiswal, 1997).

6.1 Algoritmo genético (AG)

O algoritmo genético foi desenvolvido por Holland (1992), sendo atualmente utilizado para uma variedade de aplicações. Constitui-se num procedimento de busca e otimização desenvolvido a partir do princípio da *Genética* e das teorias de *Seleção Natural* (Jaiswal, 1997). Estes algoritmos foram criados a partir dos conhecimentos da genética e utilizados artificialmente para construir algoritmos de busca que sejam robustos e requerem informações mínimas dum determinado problema.

Os algoritmos genéticos são baseados no princípio de *sobrevivência do mais apto*, donde se tenta reter apenas os indivíduos mais adequados sob o efeito das condições existentes.

Assim, apenas os melhores descendentes serão mantidos na próxima geração de acasalamentos, o que implica que as gerações subsequentes procederão duma forma evolutiva. Os indivíduos mais aptos das soluções que foram evoluindo ao longo do tempo serão considerados *soluções ótimas*. Um algoritmo genético será dado pelos seguintes procedimentos:

1. Determinar a dimensão das variáveis (caldeirão)
2. Inicialização da população
3. Avaliação da população
4. Inserir ciclo
 - a. Aplicar operador de reprodução
 - b. Aplicar o operador de cruzamento
 - c. Aplicar o operador de mutação
 - d. Avaliar a amostra
5. Terminar o ciclo (condição de paragem)

²⁶ Arrefecimento Simulado é a tradução do nome Simulated Annealing Algorithm- SAA

6. Selecionar a melhor solução entre a população

Para um estudo aprofundado sobre o AG poderá ser consultado o manual de Jaiswal (Jaiswal, 1997) e o artigo sobre o Desenho de Quadros de Recursos Humanos desenvolvido pela Direção de Análise e Gestão da Informação – Comissão Eventual da Marinha Portuguesa (Marinha, 2011).

6.1.1 Caldeirão inicial

O caldeirão inicial será dado pelo número de PALA multiplicado ao número de grupos de mercadorias, 9x29. Neste caso o caldeirão inicial será composto por 261 cromossomas.

6.1.2 Inicialização da amostra

A amostra é composta por uma população de 2989 pedidos de mercadoria.

6.1.3 Avaliação da população

Cada solução viável é descodificada para obter o valor decimal equivalente. Estes valores decimais são substituídos na função objetivo, e o valor de aptidão é avaliado para cada solução.

6.1.4 Aplicação do ciclo

6.1.4.1 Reprodução

Codificação: os algoritmos genéticos funcionam com um conjunto de códigos de variáveis agrupados conforme as suas características próprias. A vantagem da codificação resume-se eficiência das diretrizes de busca no espaço dos resultados o que reduz o tempo de execução. Geralmente as sequencias binárias são fornecidas como uma representação universal para a otimização das variáveis.

A reprodução é a funcionalidade mais importante para produzir um elevado número de cópias para a solução mais apta e eliminar as menos adaptadas. Por outras palavras o propósito da reprodução é selecionar as melhores sequências que dominarão

as próximas gerações vindouras. Normalmente é utilizada a *função objetivo* como uma função de aptidão para determinar o número de cópias das diferentes soluções.

Codificação do cromossoma genético:

Número de grupos de mercadorias																												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29

PALA 1

Ilustração 7. Representação do cromossoma com 29 grupos de mercadoria para PALA 1

Número de grupos de mercadorias																												
1	2	...	28	29	1	2	...	29	1	2	...	29	1	2	...	29	1	2	...	29	1	2	...	29	1	2	...	29

PALA 1 PALA 2 PALA 3 PALA ... PALA 7 PALA 8 PALA 9

Ilustração 8. Representação do cromossoma com 29 grupos de mercadoria para 9 PALA

PALA 1 - Fornece todos grupos de mercadoria																												
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fornece 15 grupos de mercadorias																												
1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1

PALA 9

Ilustração 9. Representação do cromossoma codificado (solução)

Reprodução																												
1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1

PAI 1

+

1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

PAI 2

Ilustração 10. Processo de reprodução.

6.1.4.2 Cruzamento

Ocorre quando aplicado o operador de cruzamento nas duas sequências (parentes) selecionadas na população aleatoriamente para o acasalamento. O operador de cruzamento ajuda na troca de material genético. Com o cruzamento é esperada a construção das melhores sequências a partir da coleção das melhores sequências dos vários progenitores. Com uma probabilidade de cruzamento de um determinado valor assumido, os pontos de cruzamentos são selecionados e todos os bits de dois parentes entre e incluindo os pontos de cruzamento serão trocados para formar novos descendentes. Considerem-se as seguintes sequências parentes:

Cruzamento																														
1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0			
PAI 1																														
1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1
PAI 2																														

Ilustração 11. Processo de cruzamento com 2 pontos

Supondo que foram selecionados aleatoriamente os pontos 3 e 7 como pontos de cruzamento. Então, os novos descendentes serão:

Descendentes																															
1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	
FILHO 1																															
1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1
FILHO 2																															

Ilustração 12. Representação dos novos descendentes

6.1.4.3 Mutação

Consiste na simples introdução dum elemento aleatório. O propósito da mutação é manter a diversidade na população. Com uma probabilidade bastante reduzida o valor de cada um dos bits em todos os descendentes é revertido. Por exemplo se o valor do bit for 1, este será trocado para 0 e vice-versa.

Quando é aplicado o operador de mutação, assume-se que o tamanho da população passa a ser duas vezes o tamanho da população inicial. Passam a existir novas sequências subjetivas aos constrangimentos da satisfação verificados. As novas sequências que não satisfizerem às restrições serão removidas do conjunto da população. Após a verificação de admissibilidade é obtido o valor do filho. Comparando este valor com o dos pais, é eliminado o cromossoma de maior valor, regressando os restantes ao caldeirão, como no exemplo da mutação no Desenho de Quadros de Recursos Humanos da Marinha Portuguesa (Marinha, 2011, p. 6).

Mutação																														
1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	
FILHO 1																														
1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
FILHO 1																														

Ilustração 13. Processo de mutação a partir do ponto 15 escolhido aleatoriamente

1. Identificar a função objetivo²⁸ que se quer otimizar no problema de minimização;
2. Associar os custos e demoras do sistema às variáveis do problema;
3. Para cada valor da solução de uma sequência de temperaturas decrescentes realiza-se a simulação (com perturbação);

No final do processo, espera-se que o sistema estacione solução de valor globalmente mínimo. A grande diferença entre estes algoritmos centraliza-se no facto de enquanto o AG utiliza pais para obter melhores filhos, neste processo cria-se apenas um valor que servirá de base para todo o processo.

6.2.1 Vizinho da solução inicial

No ponto anterior verificou-se que uma solução inicial foi criada. Esta solução aceitável baseia-se no número de PALA possíveis abrir e nas facilidades que estes poderão fornecer. A solução aceitável terá um custo que será expresso num valor calculado através da função multiobjectivo.

O método *Simulated Annealing Algorithm - SAA*, utiliza uma estratégia diferente do AG, visto que nunca percorre grandes distâncias entre duas soluções, tendo no entanto procedimentos que tentam evitar a convergência para um mínimo local, aceitando inicialmente, soluções que incrementem o valor da função objetivo.

“O SAA foi desenvolvido em analogia ao processo de recozimento de um sólido, quando se busca a obtenção de um estado que apresenta mínima energia. O termo recozimento é dado ao processo de aquecimento de um sólido até seu ponto de fusão, seguido de um resfriamento lento. Neste processo, o resfriamento lento é essencial para a manutenção do equilíbrio térmico no qual os átomos possam se reorganizar em uma estrutura de mínima energia. Caso o sólido seja resfriado de forma abrupta, seus átomos formarão uma estrutura irregular e, portanto, fraca. Computacionalmente, o recozimento pode ser considerado como um processo estocástico de determinação da organização dos átomos com mínima energia. Há altas temperaturas os átomos movem-se livremente podendo, com grande probabilidade, atingir posições que

²⁸A função objetivo assemelha-se com a função energia do sistema que foi utilizada no método de Metropolis em 1953 para introduzir o Algoritmo de Monte Carlo na simulação (Jaiswal, 1997, p. 172).

acarretam em aumento na energia do sistema. A redução gradual da temperatura possibilita aos átomos a gradual movimentação no sentido de formarem uma estrutura regular, e a probabilidade de aumento na energia é reduzida.” (Kripka, Kripka, & Oro, 2005, pp. 65-72)²⁹.

Assim, neste caso o ciclo de melhoria do SAA consiste no arrefecimento da temperatura inicial por forma a criar novos valores próximos do valor inicial. Estes valores serão chamados de *vizinhos*. Cada um dos vizinhos a semelhança da solução inicialmente criada terá um valor que corresponde ao valor da solução. Caso se verifique uma redução no valor da solução, a mesma passa a ser adotada como solução corrente e o processo é repetido, até que nenhuma melhoria seja verificada no valor da função, dentro da precisão desejada. O resultado obtido deste processo, dependendo das características das funções envolvidas, pode constituir-se na melhor solução ou aproximação nas vizinhanças da solução inicial, mas não necessariamente no ótimo global. A estratégia usual para melhorar a solução obtida consiste na análise do problema a partir de diversas soluções iniciais.

Uma vez calculado o valor da solução da vizinhança se este ser menor que o valor da solução criada depois do arrefecimento (fator de perturbação), a nova solução passa a ser a vizinha e o seu valor será calculado segundo a função multiobjectivo. Desta forma a solução que será o valor total fornecido pelo PALA será igual ao valor total fornecido pelo PALA vizinho, i.e., o vizinho passa a ser a solução inicial e o ciclo se repetirá até que seja encontrado o menor valor possível. Existe a possibilidade do valor da nova solução ser superior à existente se da comparação com os vizinhos mais próximos verificar-se um valor superior. Caso a nova solução seja superior à existente, assume-se como valor inicial da solução.

Para um estudo aprofundado sobre o SAA poderá ser consultado o manual de Mecânica Computacional (Dvorkin, Goldschmit, & Storti, 2010, pp. 9317-9325) e o

²⁹ O texto transcrito pode também ser visto na seguinte referência bibliográfica:
Kripka, R.M.L. & Kripka, M. (2013), *Simulated Annealing Aplicado ao Problema de Alocação de Salas com Deslocamentos Mínimos*.
In: Lopes et al. (Eds.), *Meta-Heurísticas em Pesquisa Operacional*, pp. 325-338, Omnipax Editora, Brasil.
http://omnipax.com.br/site/?page_id=418

artigo sobre Simulated Annealing aplicado na otimização da alocação de salas em instituição de ensino superior (Kripka, Kripka, & Oro, 2005).

Capítulo 7

A ferramenta OPALAM

7 A ferramenta de otimização

O principal objetivo da otimização dos PALA é garantir que os materiais tidos como necessidade estejam sempre prontos a ser fornecidos quando pedidos. A ferramenta OPALAM (Otimização dos Pontos de Apoios Logísticos Avançados de Moçambique) serve para a otimização dos pontos de apoios logísticos avançados da Marinha de Guerra de Moçambique.

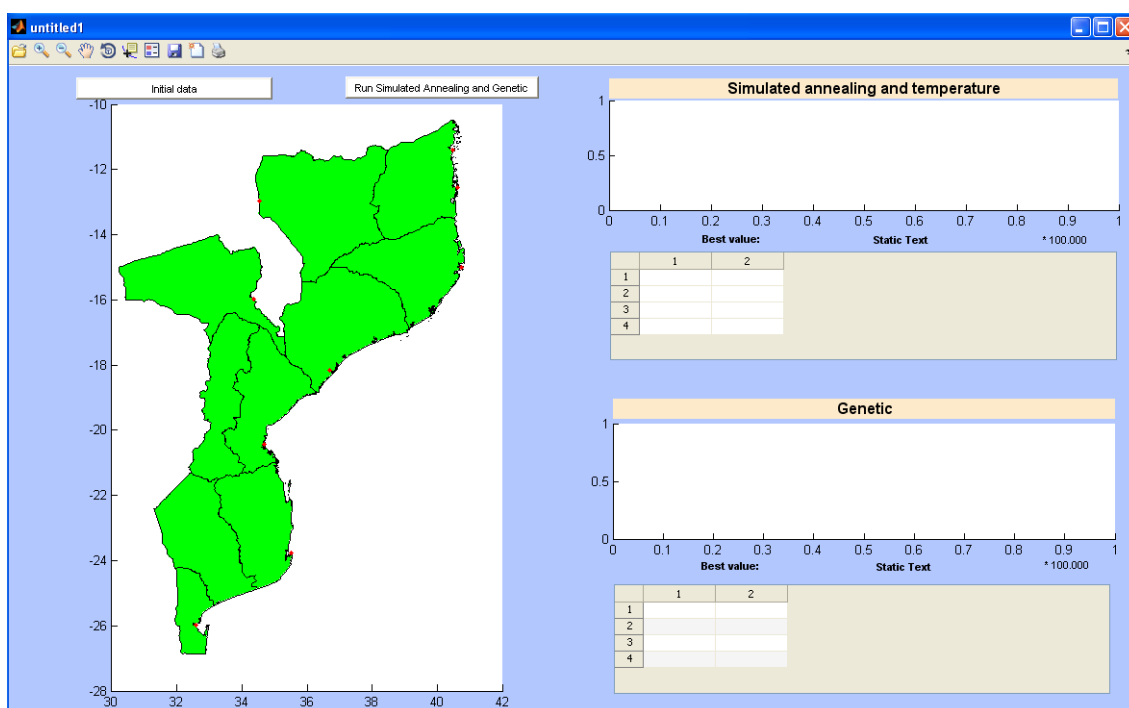


Ilustração 15. Ambiente de trabalho do programa.

O programa deverá localizar os possíveis locais de abertura de Pontos de Apoios Logísticos Avançados, onde haja disponível o material ou facilidade nas quantidades determinadas como necessidades. Neste caso as variáveis de decisão vão ser o custo e a demora de fornecimento. Para cada PALA o programa deverá ter em atenção a localização dos aeroportos, estações ferroviárias e portos de atracação. Mediante esta informação, será possível determinar qual o menor custo de abertura e funcionamento dum determinado PALA.

7.1 Variáveis de entrada: criação dos dados iniciais

O programa se inicia com a execução do botão “*initial data*”, que permite ao utilizador carregar os dados ao sistema.

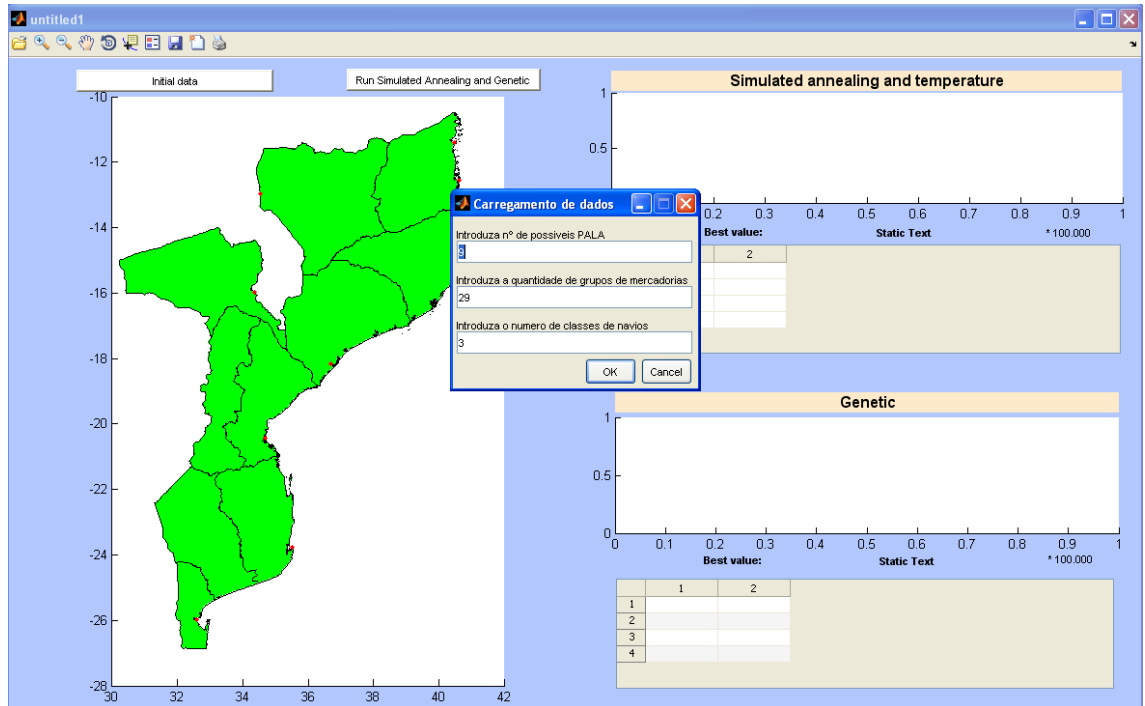


Ilustração 16. Janela de carregamento dos dados iniciais.

Ao pressionar o botão *initial data* será aberta uma janela onde o utilizador deverá inserir o número possível de PALA's a serem abertos, a quantidade de grupos de mercadorias e o número de classes de navios que a Marinha possui.

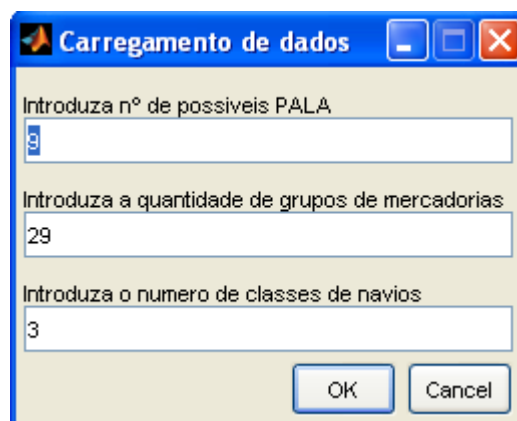


Ilustração 17. Carregamento dos dados iniciais.

O campo de inserção de dados “*introduza o número de classes de navios*” admite apenas o conjunto *c*. Ao executar a tecla “OK” da janela de carregamentos de dados o programa inicia a criação dos dados iniciais. A criação dos dados iniciais efetua-se através do carregamento dos dados das tabelas de custos e demoras.

A semelhança dos dados inicialmente referidos, foram criadas de forma aleatória as probabilidades de requisição de um grupo de mercadoria por parte de uma classe de navios e da quantidade de material de um grupo de mercadoria que será requisitado por esta mesma classe de navios.

Numa etapa final da criação dos dados iniciais, foram guardados os seguintes dados: número de PALA, número de grupos de mercadorias, número de classes de navios, as demoras de fornecimento entre os PALA, o custo inicial de abertura das instalações, o custo de abertura de uma determinada facilidade, a matriz com classes de navios por portos, o número de pedidos de transferências e as quantidades requisitadas pelos navios. A criação destes dados termina quando o programa mostrar a janela de informação “Atenção: “*terminada a criação de dados iniciais*”.

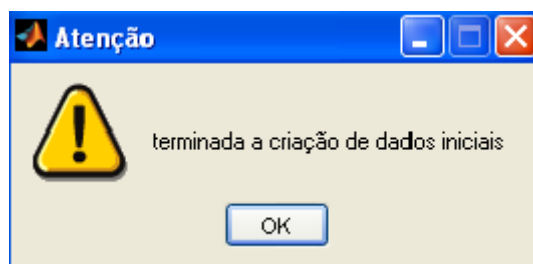


Ilustração 18. Janela de informação para criação dos dados iniciais.

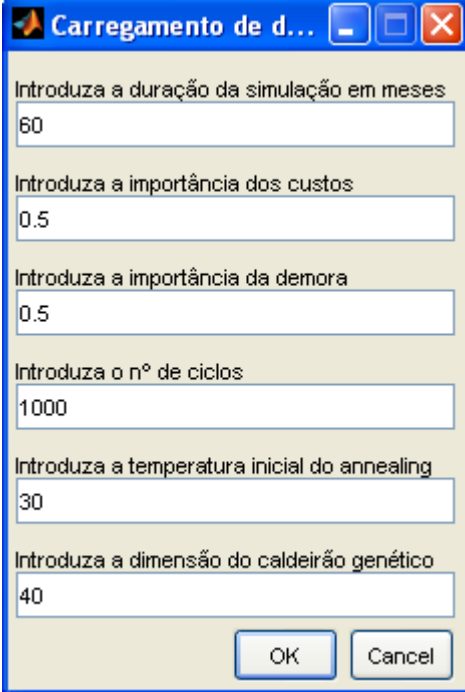
7.2 Carregamento de dados

A diferença entre a *criação de dados iniciais* e o *carregamento de dados* centraliza-se no facto duns dados serem gerados aleatoriamente pelo programa e dos outros serem introduzidos diretamente pelo utilizador.

Os dados carregados pelo utilizador quando este executa o botão “*Run Simulated Annealing and Genetic*” serão utilizados pelo programa para minimizar a função objetivo.

Assim, ao executar o botão “*Run Simulated Annealing and Genetic*”, o programa mostra uma janela de carregamento de dados, através da qual o utilizador

poderá introduzir a duração da simulação em meses, o peso da importância dos custos (predefinido em 50%), o peso da importância da demora (predefinido em 50%), o número de ciclos que o utilizador pretende percorrer, a temperatura inicial do SAA, a dimensão do caldeirão genético (aplicável para o AG).



A janela de diálogo intitulada "Carregamento de d..." apresenta seis campos de entrada de texto, cada um precedido por uma etiqueta explicativa. Os valores inseridos nos campos são: 60, 0.5, 0.5, 1000, 30 e 40. Na base da janela, há dois botões: "OK" e "Cancel".

Etiqueta	Valor
Introduza a duração da simulação em meses	60
Introduza a importância dos custos	0.5
Introduza a importância da demora	0.5
Introduza o nº de ciclos	1000
Introduza a temperatura inicial do annealing	30
Introduza a dimensão do caldeirão genético	40

Ilustração 19. Carregamento dos dados para os algoritmos.

Ao pressionar a tecla "OK" na janela de carregamentos de dados o programa inicia o processo de simulação através dos métodos meta – heurísticos percorrendo cada um dos passos do AG e do SAA.

7.3 O processo de Simulação

No processo de simulação serão testados vários cenários alterando cada um dos dados carregados, variáveis de entrada a fim de obter uma boa solução. É importante ter em atenção que uma boa solução pode não ser a solução ótima, quer seja obtida através do AG ou do SAA.

Conforme se tinha calculado nos capítulos anteriores, uma solução deverá ser obtida a partir do número de PALA, do numero de classes de navios da esquadra, do custo unitário de transporte entre os PALA, da demora de transporte entre os PALA, do custo de abertura das instalações, do custo de manutenção de cada facilidade de fornecimento sum determinado grupo de mercadoria, do número de navios numa

determinada classe atracado num determinado PALA e do numero de pedidos e pesos da classe única por grupo de mercadorias e por mês.

Os dois algoritmos irão utilizar os dados de forma a obter a melhor solução possível. A melhor solução será a solução que observar o menor custo e demora. A temperatura e a dimensão do caldeirão poderão influenciar os valores das soluções obtidas ao longo dos procedimentos. O utilizador ao executar o segundo botão “*Simulated Annealing and Genético*”, o programa pedirá o período em que pretende este simular o processo. Este período será atribuído em meses. O custo de manutenção dos depósitos acresce quanto maior for o período de simulação.

Assim, no decorrer dos procedimentos obtenho os custos e as demoras de envio de material para um determinado PALA. Lembre-se que para o presente estudo apenas estão a ser estudados os dados duma única classe de navios, o que implica que os navios vão requisitar de acordo com os pedidos e pesos dos dados históricos. No decorrer dos procedimentos acima explicados obtêm-se o PALA mais próximo que tem a aberta a facilidade pretendida. Isto, implica que na solução o programa verifica quais são os PALA que fornecem os grupos de mercadorias requisitados. Sempre que o próprio PALA fornece a facilidade, então este PALA é assumido como um PALA bom. O PALA bom é aquele que fornece uma determinada facilidade (grupo de mercadoria) ao mínimo valor possível. Para encontrar o PALA Bom, ou seja o PALA que fornece ao menor custo ou demora, o programa vai percorrer os procedimentos ilustrados a seguir.

A quantidade total fornecida por um determinado PALA será o somatório entre a quantidade fornecida pelo PALA em termos de peso por cada grupo de mercadoria por mês. O mesmo acontece para o custo fornecimento e para as demoras de fornecimento. O somatório entre os custos de fornecimento, de abertura e de manutenção equivalem ao custo total para a abertura dum Ponto de Apoio Logístico Avançado

7.4 Obtenção de Soluções e valores das soluções

Na simulação as variáveis de entrada serão alteradas de forma que o algoritmo possa navegar entre as várias soluções possíveis. Desta forma a simulação foi dividida em 6 etapas, tendo cada uma das etapas 5 processos. Numa primeira etapa é do interesse do programador que inicialmente o programa se inicie com os dados predefinidos. Assim, as tabelas que se seguem mostram os valores predefinidos no programa e o

respetivo valor da solução quer seja utilizando o Algoritmo Genético ou o Simulated Annealing Algorithm.

7.4.1 Etapa 1

Nesta etapa, 5 processos são simulados em 500 iterações mantendo a temperatura do SAA e o caldeirão do AG constantes, 30 e 40 respetivamente. Apenas o peso dos parâmetros a e b (custo e demora) são alterados, conforme a seguinte tabela:

Processo	Duração	Iterações	% Custo	% Demora	Temp.	Caldeirão	F-OBJ AG	F-OBJ SAA
1	60	500	50	50	30	40	387,6336	266,6006
2	60	500	25	75	30	40	217,1003	147,1431
3	60	500	75	25	30	40	620,9221	390,479
4	60	500	0	100	30	40	3,5936	4,152
5	60	500	100	0	30	40	820,4027	427,3737

Tabela 7. Valores obtidos no processo de simulação 1ª etapa.

Segundo a tabela acima ilustrada a alternância dos pesos conduziu a várias soluções aceitáveis. Todavia, a melhor solução foi obtida no processo 4, onde o utilizador apenas se preocupa com a demora do fornecimento, o que significa que peso do parâmetro a é nulo ($a=0$). Comparando os valores das soluções obtidas pelos algoritmos, facilmente se deduz que a melhor solução foi assegurada pelo AG.

7.4.2 Etapa 2

Na Etapa 2 foram simulados 5 processos em 500 iterações. Nesta etapa foram atribuídos aos parâmetros a e b os mesmos pesos (50%). Pretende-se verificar até que ponto o aumento da temperatura (em múltiplos de 30), e do caldeirão (em múltiplos de 40) poderá afetar o valor da solução obtida? Observe a seguinte tabela:

Processo	Duração	Iterações	% Custo	% Demora	Temp.	Caldeirão	F-OBJ AG	F-OBJ SAA
1	60	500	50	50	30	40	387,6336	266,6006
2	60	500	50	50	60	80	485,6248	328,6332
3	60	500	50	50	90	120	493,4335	291,2324
4	60	500	50	50	120	160	488,8016	308,1725
5	60	500	50	50	150	200	498,8061	274,6525

Tabela 8. Valores obtidos no processo de simulação 2ª etapa.

Dos resultados obtidos, observou-se que os valores das melhores soluções foram verificados no processo 1, com a temperatura 30 e caldeirão 40. Contudo, nesta etapa o SAA obteve o melhor valor da função objetivo.

7.4.3 Etapa 3

Na etapa 3, foram simulados 5 processos nas mesmas condições da Etapa 1, tendo sido alterado o número de iterações para 250. Pretende-se avaliar até que ponto a diminuição do número de iterações poderá afetar o valor da solução obtido?

Nesta etapa, são constantes os valores da temperatura e do caldeirão em todos os processos, variando apenas os pesos do custo e da demora, conforme a tabela que se segue:

Processo	Duração	Iterações	% Custo	% Demora	Temperatura	Caldeirão	F-OBJ AG	F-OBJ SAA
1	60	250	50	50	30	40	443,142	360,1828
2	60	250	25	75	30	40	237,7487	201,2994
3	60	250	75	25	30	40	703,4721	622,7134
4	60	250	0	100	30	40	3,6598	5,0456
5	60	250	100	0	30	40	954,7826	734,3691

Tabela 9. Valores obtidos no processo de simulação 3ª etapa.

A semelhança da Etapa 1, o valor da melhor solução obtida, verificou-se no processo 4 em que o utilizador não se preocupa com os custos de fornecimento ($a=0$); o utilizador apenas se preocupa com a demora ($b=1$). Assim, verificou-se a melhor solução com o AG.

7.4.4 Etapa 4

Na Etapa 4, os processos são semelhantes a etapa 2, com a alteração do número de iterações para 250. Lembre-se que foram simulados 5 processos em 250 iterações e que foram atribuídos aos parâmetros a e b os mesmos pesos (50%), conforme a seguinte tabela:

Processo	Duração	Iterações	% Custo	% Demora	Temp.	Caldeirão	F-OBJ AG	F-OBJ SAA
1	60	250	50	50	30	40	502,9304	407,2891
2	60	250	50	50	60	80	483,4502	386,8047
3	60	250	50	50	90	120	489,6223	332,9184
4	60	250	50	50	120	160	497,4219	389,9787
5	60	250	50	50	150	200	494,9942	366,4315

Tabela 10. Valores obtidos no processo de simulação 4ª etapa.

Desta simulação verificou-se que os melhores valores das soluções obtidas foram registados no processo 3, com temperatura 90 e caldeirão 120, ambos valores são múltiplos dos valores iniciais. A melhor solução entre os algoritmos foi encontrada a partir do SAA.

7.4.5 Etapa 5

Na etapa 5, foram simulados 5 processos nas mesmas condições da Etapa 1, tendo sido alterado o número de iterações para 1000. Pretende-se avaliar até que ponto o aumento do número de iterações poderá afetar o valor da solução obtido?

Nesta etapa, são constantes os valores da temperatura e do caldeirão em todos os processos, variando apenas os pesos do custo e da demora, conforme a tabela que se segue:

Processo	Duração	Iterações	% Custo	% Demora	Temp.	Caldeirão	F-OBJ AG	F-OBJ SAA
1	60	1000	50	50	30	40	374,435	173,2271
2	60	1000	25	75	30	40	195,9991	98,8417
3	60	1000	75	25	30	40	583,2657	273,4887
4	60	1000	0	100	30	40	1,73	1,8933
5	60	1000	100	0	30	40	678,6017	335,4893

Tabela 11. Valores obtidos no processo de simulação 5ª etapa.

A semelhança da Etapa 1, o valor da melhor solução obtida, verificou-se no processo 4 em que o utilizador não se preocupa com os custos de fornecimento ($a=0$); o utilizador apenas se preocupa com a demora ($b=1$).

Assim, verificou-se que a melhor solução foi encontrada a partir do AG. Note que até a presente etapa, esta solução foi a melhor de todos os processos desenvolvidos, o que poderá estar associado ao aumento do número de iterações.

7.4.6 Etapa 6

Com o aumento ou diminuição do número de iterações nas etapas anteriores, verificaram-se vários resultados para os valores das soluções, não tendo sido possível concluir com rigor quais os efeitos destas alterações. A ideia de comparar resultados é sustentável se todas as variáveis de entrada forem submetidas aos mesmos valores.

Assim, nesta etapa foram simulados apenas 3 processos. O principal objetivo desta etapa foi o de colocar os valores da temperatura, caldeirão e os parâmetros **a** e **b** constantes, alterando apenas o número de iterações, conforme a tabela seguinte:

Processo	Duração	Iterações	% Custo	% Demora	Temp.	Caldeirão	F-OBJ AG	F-OBJ SAA
1	60	500	50	50	40	40	475,8274	343,106
2	60	250	50	50	40	40	467,8437	430,5299
3	60	1000	50	50	40	40	390,4313	209,5225

Tabela 12. Valores obtidos no processo de simulação 6ª etapa.

O balanceamento das variáveis de entrada permite comparar com rigor os valores das soluções obtidas, e concluir sobre o efeito do aumento ou diminuição do número de iterações. Assim, verificando os valores obtidos desta etapa pode-se concluir:

- a. *Mantendo todos os dados iguais para os dois algoritmos, o processo de simulação verificará os melhores valores das soluções em SAA, independentemente do número de iterações.*

Capítulo 8

Conclusões e recomendações

8 Conclusões

A pergunta central do presente estudo submete-nos para um problema de localização de Centros de Abastecimento para os navios da esquadra da MGM, não focalizando-se nos que já existem em termos reais ao nível das infraestruturas. É no entanto possível forçar esta situação, caso se deseje.

O desafio colocado pelo trabalho, consistia em definir onde deverão ser abertos os centros de abastecimento naval, para o apoio dos navios da Marinha de Guerra de Moçambique e quais deveriam ser as mercadorias por estes armazenados, de forma que fossem minimizados os custos e demoras de fornecimento. Numa primeira abordagem o problema parece ser bastante simples; parece que nos remete para a criação duma base de dados onde será possível comparar os custos e as demoras de transporte do material entre os vários pontos ao longo da cadeia logística que se pretende criar. A partir destes pressupostos, novas questões foram surgindo, mas rapidamente conclui-se que para avançar com o presente estudo seria indispensável saber:

1. Quais os tipos de navio a operar nos teatros de operações?
2. Quantos e quais são os teatros de operações existentes?

Respondendo estas duas questões, definia-se o ponto de partida para o prosseguimento do estudo sobre o problema de otimização dos custos. Note que a questão 1 é relacionada com os meios existentes em Moçambique. Como verificamos anteriormente, o país dispõe de três esquadilhas (ENP, ELD, ELF) com meios de patrulhamento costeiro. Na questão 2, por sinal a mais fácil de responder, foram identificados os seguintes teatros de operações: TON LG, TON N, TON T, TONC e TON S, que em termos reais operam com 3 navios patrulhas oceânicos no norte e centro, e os restantes distribuídos de forma desigual, segundo Rungo (2012).

É importante salientar que cada um dos teatros de operações referidos acima está localizado nas proximidades dos principais portos ao longo da costa moçambicana. Assim sendo, estes portos foram classificados como possíveis Pontos de Apoio Logísticos Avançados (PALA). Desta forma, 9 pontos foram identificados para a instalação dos PALA (vide Capítulo 6). Toda a informação até aqui abordada foi obtida

junto a Marinha de Guerra de Moçambique e extraída da legislação em vigor (vide bibliografia).

Com o avanço do estudo foi necessário definir quais seriam os principais grupos de mercadoria e como variavam os pedidos de transferência de material destes navios? Um facto curioso nesta questão é que não foi possível encontrar uma base de dados dos navios moçambicanos para estes efeitos. As três esquadilhas de navios existentes (criadas pela Proposta do RIMAR), não fazem a gestão da informação relativa aos pedidos de transferência de material. Para colmatar esta necessidade, se teve de recorrer à Marinha Portuguesa, Direção de Abastecimento.

Na MP, o cliente (navio) procura diversos tipos de material (sobressalente elétricos, mecânicos, expediente, etc.) que será utilizado na manutenção preventiva, corretiva e nas rotinas diárias, incluindo alimentação e bem-estar. Para o presente estudo os dados utilizados foram do N.R.P Águia, um navio patrulha. Foi preciso criar um modelo das necessidades que pudesse prever quais os materiais e quando é que poderiam estes ser solicitados os respetivos centros de abastecimento. Uma vez que as necessidades não foram possíveis de modelar; calcularam-se as probabilidades de um pedido ser feito mensalmente e uma média mensal dos meses em que é pedido durante o período entre 2008 e 2012, em conformidade com os dados fornecidos pela Direção de Abastecimento.

Não foram consideradas relevantes as distâncias entre cada PALA e os pontos de atracação, sendo que o custo de transporte de material definido, corresponde ao custeio de toda atividade necessária até que a mercadoria chegue ao armazém. A grande dificuldade associada a parte da recolha dos dados sobre o transporte, associa-se a fraca adesão aos sistemas informáticos para a gestão dos transportes e as fragilidades dos sistemas de informação existentes. Em muitos casos, os operadores de transportes rodoviários não tratam os dados sobre o transporte; não existem um controlo rigoroso sobre os horários, tarifas, e sequer sobre os preços. Razão pela qual não teve nexa a utilização dos dados sobre rodoviários, embora não deixasse de ser uma oportunidade de melhoria do programa.

Conforme foi referido anteriormente, a fragilidade nos sistemas de transporte ferroviário e a limitação das vias de acesso a determinados pontos que são possíveis PALA, não permitiu que se pudesse estimar o preço de envio do material a partir deste

modo de transporte. Neste momento, operam em Moçambique três principais corredores ferroviários que apenas servem para o escoamento das matérias-primas dos principais portos (de influência regional) para os centros de produção. O transporte de mercadorias a partir da rede ferroviária continua um desafio para a realidade económica de Moçambique.

Seguindo estas linhas de orientação, constatou-se que apenas os transportes aéreos estavam devidamente organizados ao ponto de contribuírem para o presente estudo. Assim, os custos e as demoras utilizadas no simulador são referentes aos dados disponibilizados pelas Linhas Aéreas de Moçambique, E.P. De igual forma, foram analisadas várias empresas logísticas a operar em Moçambique, tendo sido encontrada as mesmas dificuldades referidas nos parágrafos anteriores. Como foi referido no capítulo sobre a modelação do problema, existem os custos de abertura e de funcionamento (manutenção) dos centros de abastecimento. Na realidade, estes custos dependem de região para região, mas, tendo em consideração que a aquisição de espaços ou infraestruturas ao longo da costa moçambicana variam em pequenas escalas, definiu-se um intervalo de preços entre 500.000 e 700.000 meticais para aquisição das instalações.

A parte referente ao processo de recolha de dados foi uma das maiores dificuldades do presente estudo. Em algumas situações os dados foram definidos aleatoriamente entre os intervalos prováveis de custo, como por exemplo, o preço de aquisição das instalações. Noutros casos os dados tiveram de ser criados pelo autor para colmatar a inexistência destes. Porém, todos os dados utilizados para o presente trabalho são suscetíveis de serem alterados e melhorados, caso se determine a necessidade.

O programa matemático utilizado (MATLAB) permitiu agrupar os dados e analisar detalhadamente por forma a criar um modelo que se traduziu na SAD. O Algoritmo Genético e o Simulated Annealing foram aplicados e testados em ambiente de trabalho MATLAB, tendo sido apresentados os resultados e discutidos no capítulo anterior. Lembre-se que o simulador foi testado para um período de 5 anos, onde foi possível introduzir no sistema dados à vontade do utilizador, podendo estes dados serem alterados e modelados a fim de convergirem para as melhores soluções.

A melhor solução para qualquer dos algoritmos é aquela que regista o menor valor possível na função objetivo. Na verdade, a função não é objetivo, mas multiobjectivo por serem estudadas duas variáveis de decisão simultaneamente. O estudo destas variáveis foi possível através da atribuição do peso para cada uma delas. O peso do custo foi designado por **a** e o peso da demora por **b**. Lembre-se que a soma dos pesos é sempre igual a 1.

Em cada uma das etapas simuladas no capítulo anterior, obteve-se uma solução mais próxima da solução ótima. As soluções obtidas não são as soluções ótimas para os casos anteriormente estudados, mas correspondem as melhores soluções encontradas, i.e., os valores mais próximos do ponto ótimo.

Todavia, foram encontradas 6 melhores soluções, todas correspondentes as melhores soluções dentro da respetiva etapa. Tendo em atenção que os processos foram simulados em cenários diferentes, em que metade dos resultados forma registados em AG e outra metade em SAA, qual destes terá sido o melhor algoritmo de otimização? Observe a tabela:

Etapa	Processo	Duração	Iterações	% Custo	% Demora	Temp.	Caldeirão	F-OBJ	Algoritmo
1	4	60	500	0	100	30	40	3,5936	AG
2	1	60	500	50	50	30	40	266,6006	SAA
3	4	60	250	0	100	30	40	3,6598	AG
4	3	60	250	50	50	90	120	332,9184	SAA
5	4	60	1000	0	100	30	40	1,73	AG
6	3	60	1000	50	50	40	40	209,5225	SAA

Tabela 13. Relação dos resultados das etapas de simulação.

O melhor algoritmo não será o AG e nem o SAA, depende. Como se pode verificar na tabela anterior, nas etapas 1, 4 e 6, todas com o número de iterações diferentes, conduziram-nos para o AG, i.e., os valores das soluções foram obtidos recorrendo ao Simulated Annealing. Contrariamente, sempre que são alterados os parâmetros a e b, ou da temperatura e do caldeirão, o SAA apresenta os melhores valores.

Sempre que o utilizador executar o programa, obterá duas soluções. A primeira solução em AG e a segunda em SAA. A partida não se sabe qual deverá ser a melhor opção para o utilizador, daí a necessidade surge a necessidade da SAD que lhe facultará

duas melhores soluções. Em algumas etapas dos testes, verificou-se que metade destas favoreceram ao AG e outra apontaram para o SAA com sendo o melhor algoritmo para a minimização do problema. Em contrapartida, a definição do melhor algoritmo é associada ao menor valor possível, e o menor valor possível poderá ser encontrado através de qualquer um dos algoritmos.

De todas as simulações efetuadas em cada uma das 6 etapas constituídas por 5 processos, apenas uma forma de apoio à decisão foi dada como certa. Observe a seguinte tabela :

Etapa	Processo	Duração	Iterações	a (%)	b (%)	Temp.	Caldeirão	F-OBJ	Algoritmo
1	4	60	500	0	100	30	40	3,5936	AG
3	4	60	250	0	100	30	40	3,6598	AG
5	4	60	1000	0	100	30	40	1,73	AG

Tabela 14. Melhores resultados obtidos utilizando AG.

Como se pode verificar, independentemente do número de iterações introduzidas no programa, sempre que o utilizar tiver o parâmetro a nulo ($a=0$), este assume que apenas se preocupa com a demora do fornecimento, então, a melhor solução provavelmente será dada pelo Algoritmo Genético, mas existem casos em que será o Simulated Annealing, como no exemplo mais abaixo. Todas as outras melhores soluções serão obtidas através do Simulated Annealing, por sinal o melhor algoritmo entre os dois. Não obstante a estas observações, o modelo de implementação dos centros de abastecimento vai depender de como pretende o utilizador distribuir os grupos de mercadoria dada a proposta do programa.

Na figura que se segue são apresentadas duas soluções semelhantes a etapa 5, processo 4, onde foram simulados 1000 iterações mantendo a temperatura do SAA, e o caldeirão do AG constantes, 30 e 40 respetivamente. Apenas o peso dos parâmetros a e b (custo e demora) foram alterados, conforme a seguinte tabela acima ilustrada.

Neste exemplo Pretende-se avaliar qual das duas soluções o utilizador iria optar para a criação do seu dispositivo naval otimizado?

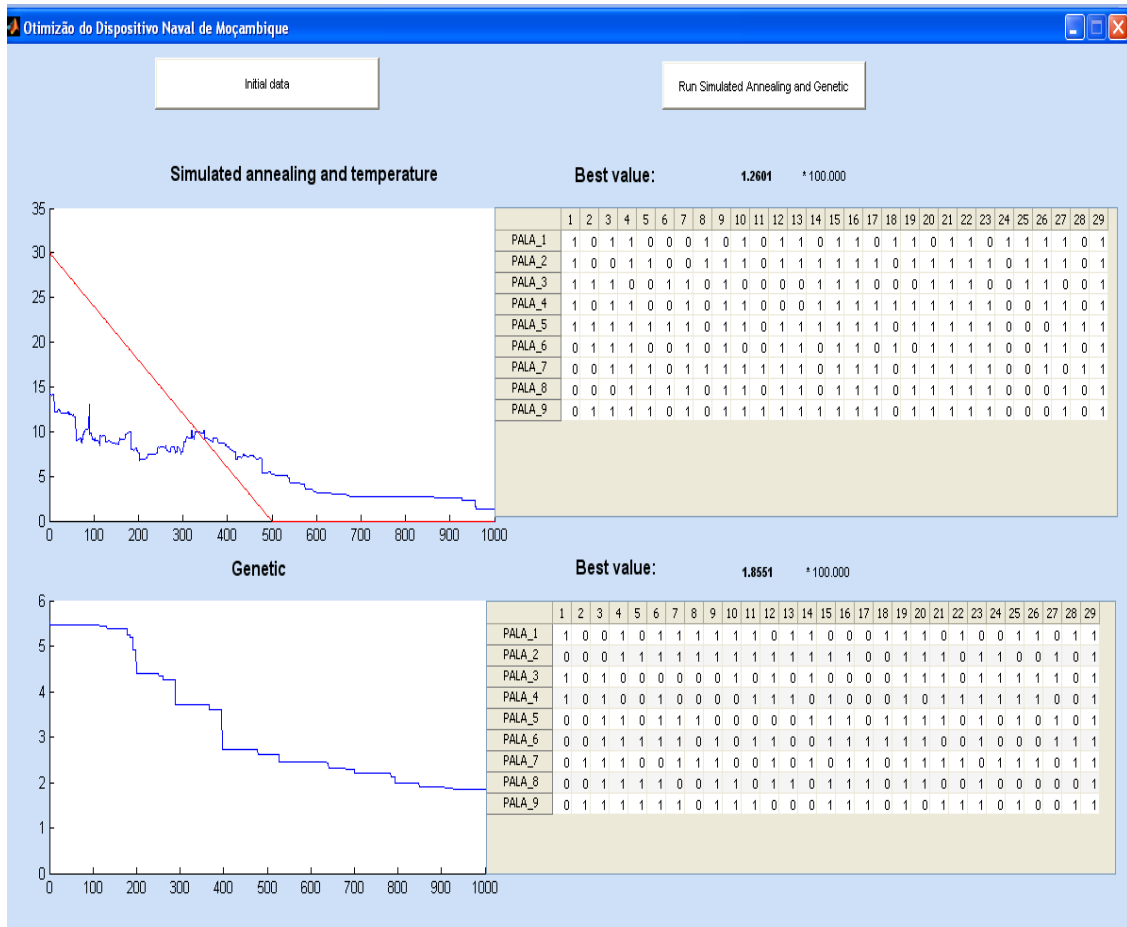


Ilustração 20. Apresentação dos resultados do AG e SAA.

Na ilustração acima o SAA apresenta melhor valor da solução ($1.2601 * 100.000$) em relação ao AG ($1.8551 * 100.000$)³⁰. A partida é a melhor solução para o utilizador por ter o menor valor da função multiobjectivo.

Imagine que o utilizador precisa de qualquer forma abrir os centros e maximizar o número de PALA a fornecer os grupos 24 e 25. Ao encontrar esta solução, poderá este optar pelo AG que maximiza a necessidade do utilizador. Então, conclui-se que apesar do SAA apresentar o menor valor possível nunca será linearmente definido como melhor solução; aliás, nenhuma das soluções obtidas a partir das simulações do programa é a solução ótima. Porém, todas as soluções geradas concorrem para a solução

³⁰ Note que os custos são medidos em meticais e as demoras em minutos. Não tendo sido estudada uma relação direta entre as duas variáveis é incoerente assumir que a partida a função objetivo é medida em meticais, salvo se a demora fosse nula e vice-versa. Portanto, assume-se com abstrata a unidade de medida da função objetivo sempre que qualquer os coeficientes a ou b sejam diferentes de zero.

ótima. Assim, poderá se verificar que umas soluções são melhores ou mais próximas das ótimas que outras.

No gráfico do SAA, a linha vermelha representa o valor da temperatura do recozimento. Este valor decresce cada vez que o simulador percorre as iterações introduzidas. Durante a simulação verifica-se que quando a temperatura está a tender para zero, os valores da função objetivo da iteração n poderão ser maiores ou menores que os da iteração anterior $n-1$, originando os saltos no valor da função objetivo. Estes saltos são originários do método de comparação através da vizinhança, que é utilizado pelo Simulated Annealing. Todavia, o SAA compara o valor atual da função objetivo com os valores vizinhos, admitindo a troca instantânea de valores, o que origina o acréscimo ou decréscimo da solução.

O gráfico do AG não apresenta o resultado do cruzamento, apenas o da melhor solução já encontrada. Por esse motivo, nunca é apresentada uma subida do valor da solução, enquanto o gráfico do SAA apresenta pioria das soluções, até ao momento em que deixa de estar autorizado a tal, pelo coeficiente de arrefecimento.

Sempre que a temperatura atinge o valor igual a zero, o efeito da perturbação fica anulado e a função objetivo tende a decrescer. Contudo, a melhor solução será sempre a que observe o menor valor da função objetivo (problema de minimização), obtida através da simulação das meta-heurísticas.

Até que ponto poderá o emprego desta técnica de otimização contribuir para a resolução dos problemas logísticos da Marinha de Guerra de Moçambique ou de outras instituições?

A atual conjuntura económica das Forças Armadas de Moçambique carece de organização. Para melhor se organizar, a FADM precisa de ferramentas de apoio que possibilitem aos decisores influenciar, fundamentar e estudar as decisões tomadas. Não basta que haja orçamento para a aquisição dos meios, das mercadorias, dos fardamentos, dos materiais dos serviços ou instalações, é preciso que haja ferramentas para garantir a continuidade e o bom desempenho destes meios e materiais.

Diversas simulações envolvendo variáveis que se considerem importantes para a MGM podem ser desenvolvidos utilizando o programa MATLAB ou qualquer outra

linguagem de programação, mas para tal é preciso que alguém se preocupe e estude estas possibilidades. Resolver um problema a partir da programação poderá ser um tempo perdido. Deste tempo poderá de igual forma, ser produzida uma ferramenta que pense pelos outros; que faça uma análise de dados e variáveis e que culmine com uma proposta de decisão. Estas propostas de decisão evidenciam a importância do emprego de técnicas de otimização a esse tipo de problemas (minimização), bem como a validade da abordagem efetuada.

A matemática é o centro de todas as operações que o cérebro humano involuntariamente efetua. A formulação matemática é uma capacidade que se poderá apresentar, contudo, requer sempre pequenas adaptações para se tornar credível. O mesmo se diz da modelação e programação do presente trabalho, que é suscetível de resolver problemas específicos de várias organizações bastando para tal ser alterado e validado. Desta forma, o desequilíbrio financeiro das FADM e as fragilidades económicas face aos fatores exógenos, e aos efeitos das constantes mudanças no domínio e aproveitamento do mar, têm impulsionado novas normas, regulamentos e Leis. Estas novas formas de estar e decisões carecem dum Sistema de Apoio à Decisão.

8.1 Resposta à questão central

Onde deverão ser abertos os Pontos de Apoios Logísticos (centros de abastecimento), para o apoio da esquadra de navios e quais as mercadorias que poderão ser disponibilizadas, minimizando os custos e as demoras de fornecimento, da Marinha de Guerra de Moçambique?

Os Centros de Abastecimentos para o apoio da esquadra poderão ser abertos em quaisquer dos PALA ou novos pontos possíveis devidamente indicados, desde que sejam otimizados. Note que embora a ferramenta de otimização forneça uma solução boa, alguns PALA poderão fornecer quantidades de grupos de mercadorias que não justifiquem a sua abertura. Desta forma, caberá ao decisor estudar dentro da solução boa quais os pontos que realmente serão indispensáveis para o bom funcionamento do sistema logístico.

Uma vez que a solução obedece uma restrição que obriga o fornecimento de pelo mesmo um grupo de mercadorias por cada PALA (restrição 1), existe a possibilidade dum determinado PALA fornecer apenas um único grupo de mercadoria. Estando nesta

situação provavelmente não se justifica a abertura desse PALA, porque estaria o decisor a acrescentar custos (abertura e funcionamento) acrescidos ao sistema. Assim, tendo o decisor uma solução boa em que num dos PALA verifica a existência de poucas facilidades, poderá este definir um critério de abertura, como por exemplo *abrir apenas os PALA que forneçam uma percentagem mínima de grupos de mercadorias*.

É importante ter em atenção que o facto de um PALA fornecer apenas um grupo de mercadoria, não implica diretamente que este seja pouco significativo para o sistema logístico. Todavia, um único grupo de mercadoria poderá ter dezenas de materiais diferenciados pelas especificações técnicas e NNA. Por exemplo, o grupo 4 dos combustíveis e lubrificantes, agrupa todos tipos de combustível desde F44, Marine Gasoil, gasolina, até aos diferentes tipos de óleos.

Os Pontos de Apoio Logísticos ou Centros de abastecimento para os navios da esquadra da Marinha de Guerra de Moçambique, deverão ser abertos de acordo com as observações validadas pelo Sistema de Apoio à Decisão. Porém, o programa deverá ser devidamente atualizado por forma a melhorar a qualidade das informações nele contido. Numa fase em que o país necessita de centros de armazenagem para a sustentação dos novos meios adquiridos, é indispensável que exista um sistema de apoio que sugere a organização e o funcionamento dos PALA. Os centros poderão utilizar a matriz binária de fornecimento de facilidades para definir quais as mercadorias que deverão ser armazenadas de forma a minimizar o custo e a demora.

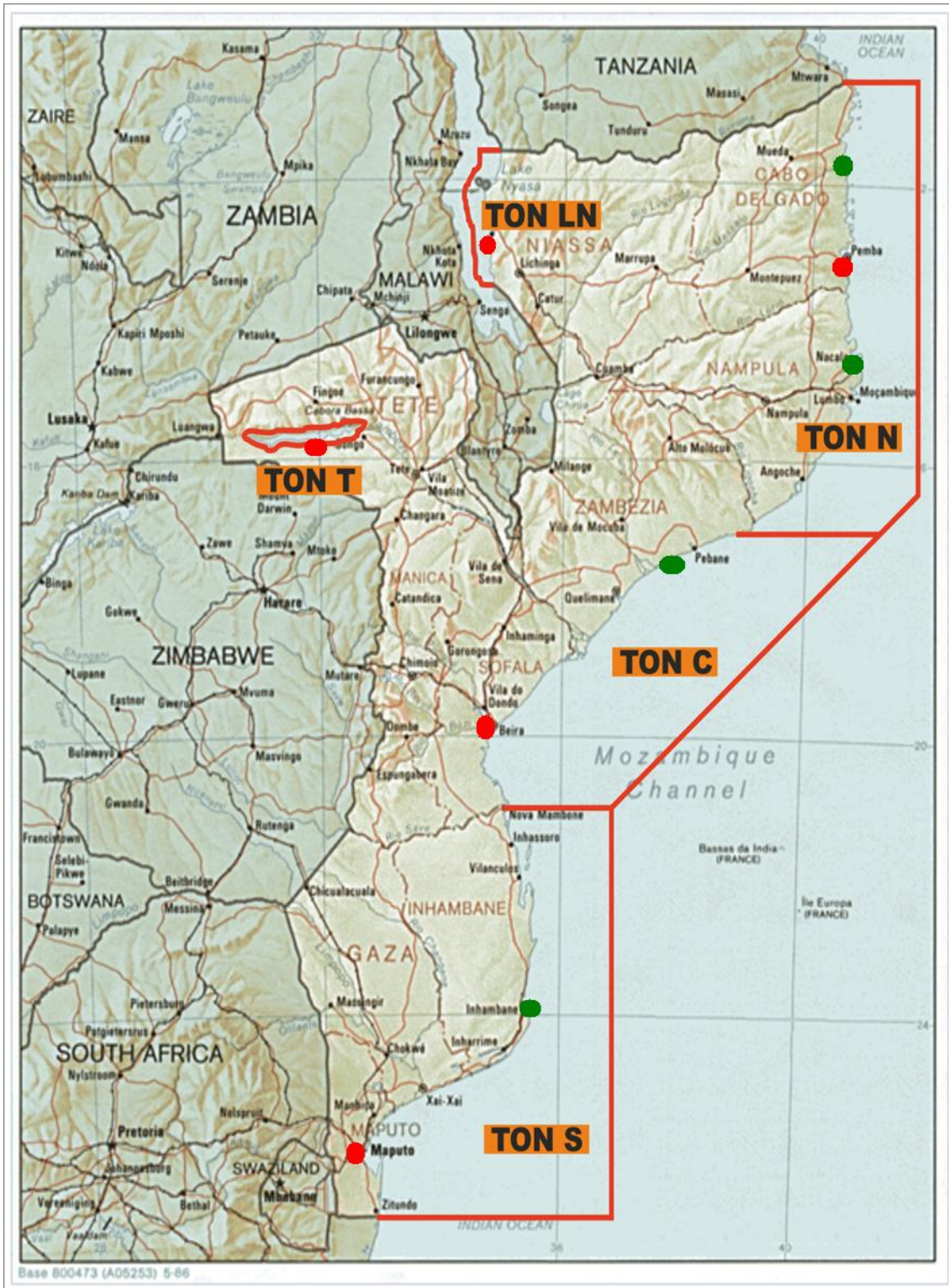


Ilustração 21. PALA abertos nos diferentes Teatros de Operações da MGM

8.2 Recomendações

No ano de 2012, o Aspirante da Classe Marinha, Ernesto Pedro Rungo recomendou para a investigação o tema “*Planeamento Naval em Moçambique*” (Rungo, 2012), que caracterizou como um estudo de levantamento de necessidades relativas aos meios da MGM e respetiva proposta dos meios navais a serem adquiridos.

No âmbito da presente investigação, várias questões foram levantadas sobre o tema proposto. Em alguns capítulos existem conceitos que poderão ser alvo de novos projetos de investigação dos quais vale à pena referir como recomendações:

1. *Gestão de Carreiras nas FADM* - um estudo sobre o número do efetivo dos militares nos diversos ramos, e o controlo das progressões e promoções durante a carreira.
2. *Processos Logísticos para a Gestão da Manutenção dos meios existentes* – dispendo a Marinha de Guerra de Moçambique dos novos meios de patrulhamento costeiro, de que forma poderão gerir a manutenção destes de forma que se maximize o período de vida, e consequentemente a interoperabilidade das operações no Mar.
3. *Sistema Integrado de Gestão da Defesa Nacional - Moçambique*: um estudo sobre a necessidade de implementação duma ferramenta informática que permita a gestão financeira, logística e dos recursos humanos das FADM.
4. *Base de Dados da Catalogação da Defesa Nacional* – um estudo sobre as necessidades dos meios integrados nos ramos da FADM, que possibilite uma linguagem única dentro das FADM e com os fornecedores.

9 Referências bibliográficas

- Aveiro, U. d. (17 de Junho de 2011). *Aulas de Programação Inteira*. Obtido em 17 de Junho de 2011, de Universidade de Aveiro: <http://www.mat.ua.pt/io/>
- Cajarabille, V.-A. L. (Janeiro de 2009). Ciclo de Palestras Academia de Marinha. (A. d. Portuguesa, Entrevistador)
- Carvalho, J. C. (2010). *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento* (1ª Edição ed.). Lisboa: Sílabo.
- CFM, C. d. (08 de 2011). *CFM, EP*. Obtido de Corporate Profile: <http://www.teledata.mz/cfm/wp-content/uploads/2011/08/Corporate-Profile.pdf>
- Deus, I. G. (Fevereiro de 2013). Sistema de Apoio à Decisão para PEPCP - EMA. (A. H. Aly, Entrevistador) Lisboa.
- Dias, J. C. (2005). *Logística Global e Macrologística* (1ª Edição ed.). Lisboa: Sílabo.
- Dvorkin, E., Goldschmit, M., & Storti, M. (2010). *Mecânica Computacional* (Vol. XXIX). Buenos Aires: Science.
- Honguane, A. M. (07 de Novembro de 2007). Perfil Diagnostico da Zona Costeira de Moçambique. (E. S. UEM, Ed.) *Revista de Gestão Costeira Integrada* , pp. 1-14.
- Jaiswal, N. K. (1997). *Military Operations Research Quantitative Decision Making* (Vol. II). Massachusetts: kluwer Academic Publishers.
- Kripka, R. M., Kripka, M., & Oro, N. (2005). *Distribuição de Cargas Horárias em Instituições de Ensino Superior: Uma Formulação para a maximização do Aproveitamento dos Recursos Humanos* (1 ed., Vol. 14). Passo Fundo, Brasil: Ciência & Engenharia.
- Lachtermacher, G. (2004). *Pesquisa Operacional na tomada de decisões* (2ª Edição ed.). São Paulo: Editora Campus.
- LAM. (Janeiro de 2013). *Linhas Aéreas de Moçambique*. Obtido de www.lam.co.mz
- Marinha. (2011). *Desenho de Quadros de Recursos Humanos*. Divisão de Estatística e Investigação Operacional. Lisboa: Marinha Portuguesa - Direção de Análise e Gestão da Informação.
- Matsumoto, É. Y. (2003). *MATLAB 6 - Fundamentos de Programação* (2ª ed.). São Paulo: Érica.
- MTC. (15 de Junho de 2009). *Ministério dos Transportes e Comunicações*. Obtido em 16 de Fevereiro de 2013, de http://www.mtc.gov.mz/index.php?option=com_content&view=frontpage&Itemid=1

Pereira, M. J. (1966). *Logística* (Vol. II). (S. d. Escolares, Ed.) Lisboa: Escola Naval.

Pereira, M. J. (1966). *Logística* (Vol. II). Alfeite: Escola Naval.

RIMAR. (2011). *Proposta do Regulamento Interno da Marinha*. Maputo: Marinha de Guerra de Moçambique.

Rungo, E. P. (2012). *O Modelo do Duplo Uso em Moçambique*. Marinha, Departamento de Formação de Marinha. Alfeite: Escola Naval.

Stoner, J. A., & Edward, R. F. (1985). *Administração* (5ª Edição ed.). Rio de Janeiro: Editora Prentice-Hall do Brasil.

Stoner, J., & Freeman, E. (1985). *Administração* (5ª Edição ed.). Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil.

10 Anexos

Anexo 1

Esforço Logístico	Funções de direção/gestão	. Informação	Técnica de gestão	Procura e preparação da melhor solução
		. Planeamento		
		. Documentação		
		. Inspeção e disciplina		
		. Coordenação		
		. Organização		
	Elementos funcionais	. Abastecimento	Técnica logística	
		. Manutenção		
		. Pessoal		
		. Saúde		
		. Transporte		
		. Infraestrutura		
		. Determinação de necessidades		
. Obtenção de meios				
. Distribuição				
Órgãos de apoio	. Estabelecimentos logísticos centrais	Estáticos	Apoio logístico (execução da solução)	
	. Bases navais permanentes			
	. Bases navais avançadas			
	. Grupos de reabastecimento no mar			

Anexo 1. Matriz do Esforço Logístico.

Fonte: Adaptação do autor baseado em J. C. Carvalho, 2010.

Anexo 2

Fatores condicionantes da obtenção	. Especificações dos artigos	Qual?
	. Normalização	
	Catálogo dos artigos	
	.Regime de realização das despesas	Quando, quanto, qual?
	.Estudo do mercado .Nacional .Internacional	
	. Fixação de prioridades	Qual/quanto?
	.Preservação e armazenagem	
	. Disponibilidades orçamentais	

Anexo 2. Fatores condicionantes do processo de obtenção dos meios.

Fonte: Adaptação do autor baseada no livro de J.C. Carvalho, 2010.

Anexo 3

Unidades	Designação
AY	CONJUNTO
BC	BLOCO
BG	SACO
BK	LIVRO
BT	GARRAFA
BX	CAIXA
CA	CARTUCHO
CB	GARRAFÃO
CN	LATA
CZ	METRO CÚBICO
DZ	DÚZIA
EA	UNIDADE
HD	CENTENA
HK	NOVELO
KG	QUILOGRAMA
KT	KIT
LI	LITRO
MR	METRO
OT	EQUIPAMENTO
PD	BLOCO (PAPEL)
PG	EMBALAGEM
PR	PAR
PZ	PACOTE
RL	CARRETEL
RM	RESMA
RO	ROLO
SE	JOGO
SH	FOLHA
SM	METRO QUADRADO
TE	DEZ
VI	FRACO

Anexo 3. Unidades de fornecimento dos materiais.

Fonte: SIG-DN (Direção de Abastecimento).

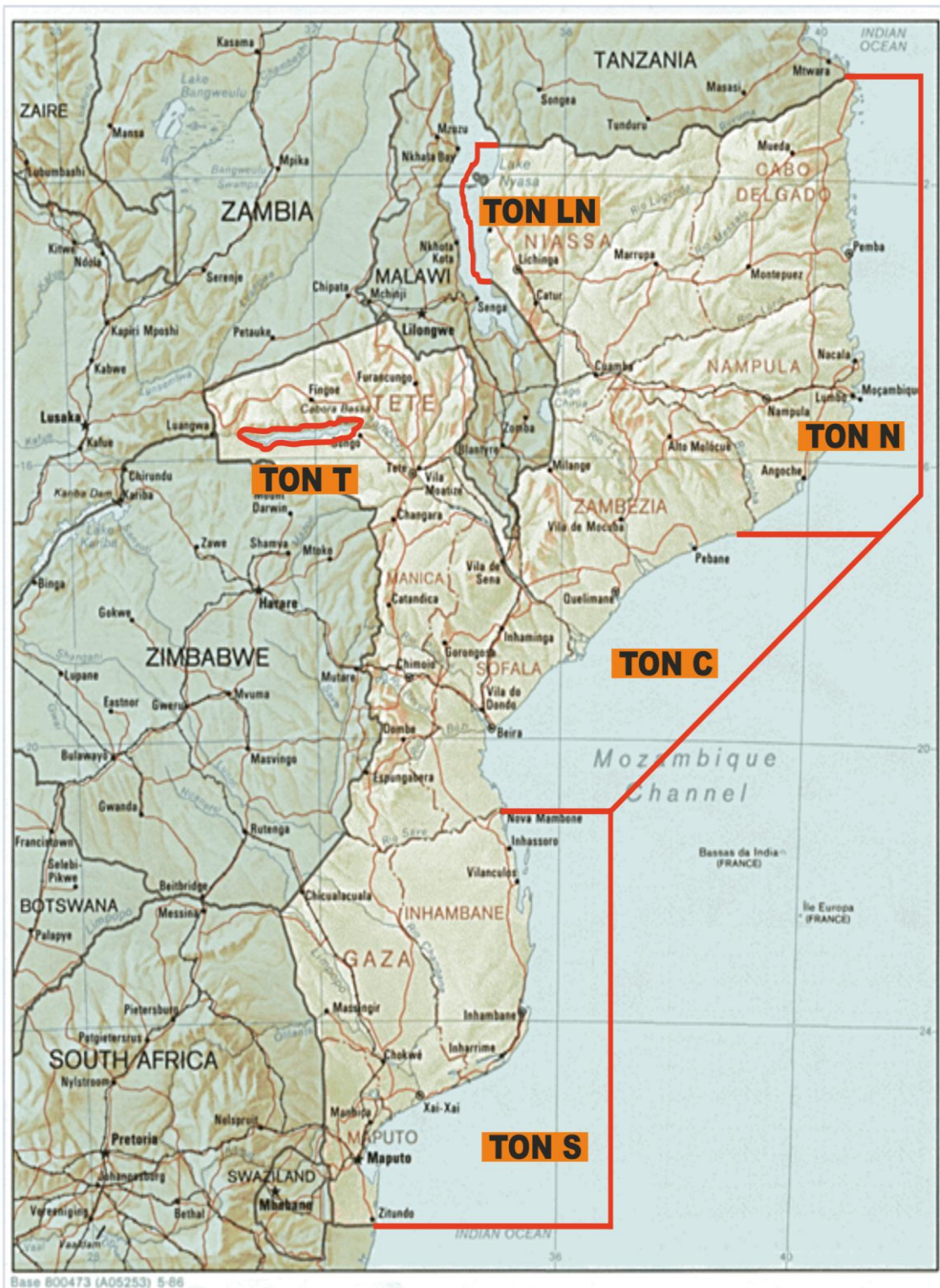
Anexo 4

Caraterísticas	
Deslocamento	43,5t
Comprimento	21,9m
Boca máxima	5,3m
Calado	1,9m
Velocidade máxima	14 nós
Propulsão	
2 Motores Cummins Diesel-50-M2	1.100hp
Autonomia	2500 NM 12 nós
Armamento	
Portatil diverso	
1 radar de navegação Furuno	
Equipamento diverso	
Aladador de redes	3000 kg
Guarnição	
Oficiais	1
Sargentos	1
Praças	6

Anexo 4. Características do N.R.P. Águia.

Fonte: extraído da página www.intranet.marinha.pt, em 13 de Fevereiro de 2013.

Anexo 5



Anexo 5. Teatros de Operações Navais da Marinha de Guerra de Moçambique.

Fonte: Apresentação do Comodoro Rivas Mangrassse, Instituto de Estudos Superiores Militares, Lisboa, 2011.

Anexo 6



Anexo 6. Navio Patrulha "Pebane" (P001), construído na Espanha.

Fonte: http://www.navantia.es/noticia.php?id_noti=253

Anexo 7 – Código do programa