

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE- FURG
CURSO DE GESTÃO EM OPERAÇÕES E LOGÍSTICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

NOME COMPLETO: RÔMULO BORDONI
**TÍTULO: ATIVIDADES DE DEFESA NUCLEAR, BIOLÓGICA, QUÍMICA
E RADIOLÓGICA NO ÂMBITO DAS CATÁSTROFES NATURAIS**

PÓS-GRADUAÇÃO *LATO SENSU*

RIO DE JANEIRO, RJ
2021

TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE USO E APROVAÇÃO

AUTOR RÔMULO BORDONI

**TÍTULO ATIVIDADES DE DEFESA NUCLEAR, BIOLÓGICA, QUÍMICA E
RADIOLOGICA NO ÂMBITO DAS CATÁSTROFES NATURAIS**

Autorizo que o presente artigo científico apresentado ao Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* da FURG, como requisito parcial para obtenção do certificado de Especialista em Gestão de Operações e Logística, e aprovado pelos professores responsáveis pela orientação e sua aprovação, seja utilizado para pesquisas acadêmicas de outros participantes deste ou de outros cursos, afim de aprimorar o ambiente acadêmico e a discussão entorno das temáticas aqui propostas.

TÍTULO: ATIVIDADES DE DEFESA NUCLEAR, BIOLÓGICA, QUÍMICA E RADIOLÓGICA NO ÂMBITO DAS CATÁSTROFES NATURAIS

AUTOR: RÔMULO BORDONI

ORIENTADOR: PROFESSOR ANDRÉ ANDRADE LONGARAY

RESUMO

Este artigo tem como propósito servir de ferramenta para auxiliar uma possível melhoria na eficiência de aplicação do Sistema de Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica da Marinha do Brasil (SisDefNBQR-MB) – onde tal atividade é orientada pelo Corpo de Fuzileiros Navais (CFN) - , especialmente no âmbito das catástrofes naturais, tendo em vista as dificuldades encontradas pelas próprias equipes na resposta a acontecimentos recentes (derramamento de óleo bruto na costa brasileira e a pandemia de covid-19), principalmente relacionada à logística de suprimentos. Para tal, após explorado o histórico dos eventos relevantes a DefNBQR no mundo e a estrutura do próprio SisDefNBQR-MB, foi utilizado o método das P-Mediana para identificar os melhores locais para concentração de meios de forma a atender de forma eficaz uma possível emergência em qualquer parte território nacional com maior brevidade e menores custos possíveis.

PALAVRAS-CHAVE: Corpo de Fuzileiros Navais (CFN); Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica (DefNBQR), Problema das P-mediana (PPM), Catástrofes Naturais, Suprimentos

ATIVIDADES DE DEFESA NUCLEAR, BIOLÓGICA, QUÍMICA E RADIOLÓGICA NO ÂMBITO DAS CATÁSTROFES NATURAIS

Rômulo Bordoni bordoni07@gmail.com

Declaro que sou autor(a)¹ deste Trabalho de Conclusão de Curso. Declaro também que o mesmo foi por mim elaborado e integralmente redigido, não tendo sido copiado ou extraído, seja parcial ou integralmente, de forma ilícita de nenhuma fonte além daquelas públicas consultadas e corretamente referenciadas ao longo do trabalho ou daqueles cujos dados resultaram de investigações empíricas por mim realizadas para fins de produção deste trabalho.

Assim, declaro, demonstrando minha plena consciência dos seus efeitos civis, penais e administrativos, e assumindo total responsabilidade caso se configure o crime de plágio ou violação aos direitos autorais. (Consulte a 3ª Cláusula, § 4º, do Contrato de Prestação de Serviços).

RESUMO - Este artigo tem como propósito servir de ferramenta para auxiliar uma possível melhoria na eficiência de aplicação do Sistema de Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica da Marinha do Brasil (SisDefNBQR-MB) – onde tal atividade é orientada pelo Corpo de Fuzileiros Navais (CFN) - , especialmente no âmbito das catástrofes naturais, tendo em vista as dificuldades encontradas pelas próprias equipes na resposta a acontecimentos recentes (derramamento de óleo bruto na costa brasileira e a pandemia de covid-19), principalmente relacionada à logística de suprimentos. Para tal, após explorado o histórico dos eventos relevantes a DefNBQR no mundo e a estrutura do próprio SisDefNBQR-MB, foi utilizado o método das P-Mediana para identificar os melhores locais para concentração de meios de forma a atender de forma eficaz uma possível emergência em qualquer parte território nacional com maior brevidade e menores custos possíveis.

PALAVRAS-CHAVE: Corpo de Fuzileiros Navais (CFN). Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica (DefNBQR). Problema das P-mediana (PPM). Catástrofes Naturais. Suprimentos.

1. INTRODUÇÃO

Há no mundo hoje, uma crescente demanda na fabricação e manipulação de substâncias químicas, agentes biológicos e elementos radioativos. Esses não restringem-se apenas a substâncias com risco ambiental futuro, cujas consequências de mau uso seriam observadas apenas pelas próximas gerações “alarmistas”. Tratam-se de agentes com potencial para serem utilizados em guerras, como armas de destruição em massa. Porém a crescente demanda não advém somente de seu uso bélico. O avanço científico-tecnológico, sua estreita ligação com crescimento industrial, o aumento da demanda por energia e uma maior necessidade de produção de alimentos para uma crescente população, trouxeram consigo um maior risco associado aos agentes Nucleares, Biológicos, Químicos e Radiológicos (NBQR) utilizados em seus processos.

Catástrofes recentes envolvendo tais agentes nos mostram o quão vulnerável a humanidade é quando se trata desse assunto. Por suas dimensões microscópicas, muitas vezes o inimigo será invisível, e os métodos de controle de um nível de conhecimento técnico inacessível a grande parte da população, e que devido a isso muitas vezes não entenderá ou concordará com as medidas necessárias. Não bastasse a complexidade das consequências, as causas também são variadas, sendo tais catástrofes possíveis de acontecer por causas naturais aleatórias, por acidentes gerados por falha humana e até por eventos gerados intencionalmente.

1.1. Tema

A eficiência das medidas de contenção de agentes NBQR dependerá principalmente da velocidade da resposta dada a determinada evento. Embora o tempo de ação dos diferentes agentes seja variável, uma demora no atendimento a um sinistro, mesmo de um agente mais “lento”, pode acarretar uma grande emergência pelo crescente espalhamento da contaminação, se não controlada a tempo. Logo, faz-se presente a preocupação com a prontidão das Equipes de Resposta, no que se refere ao adestramento dos diversos e específicos procedimentos e também ao aprestamento do material, aí inclusos não só os Bens Permanentes como os Bens de Consumo. Para tal, a devida cadeia logística para

gerar e manter seu fornecimento as Equipes deve ser prevista, principalmente para situações como as recentemente experimentadas, onde o esforço e consequentemente o consumo foram duradouros e a oferta do mercado, em determinados casos, extremamente limitada. As Equipes de Resposta devem estar preparadas para o pior.

1.2. Hipóteses

O derramamento de óleo na costa brasileira e a pandemia de CoViD-19 são catástrofes que mostraram que não importa o nível de preparo dos países ou entidades envolvidas, quando se trata de agentes NBQR sempre pode haver surpresas. Uma busca por aperfeiçoamento da cadeia logística dos sistemas de resposta, através do problema das P-Medianas, pode ser uma excelente oportunidade de melhor se preparar e minimizar os efeitos de futuros acontecimentos dessa espécie.

1.3. Justificativa

A MB é responsável por coordenar e integrar os programas e ações atinentes ao setor nuclear no Brasil, que tem por objetivo setorial específico propor a implantação de um Sistema de Defesa Nuclear, Biológica e Química no âmbito das Forças Armadas. Para tal fim, criou-se o Sistema de Defesa NBQR da Marinha do Brasil (SisDefNBQR-MB), que promove o desenvolvimento da doutrina e a obtenção dos materiais específicos necessários. Dessa forma a busca por oportunidades de melhorias no Sistema, principalmente no que se refere a cadeia de suprimentos, traz contribuições relevantes para a MB no cumprimento de suas tarefas de se contrapor às ameaças citadas, e para toda a sociedade brasileira beneficiada pelos serviços prestados.

1.4. Objetivos e metodologia

O presente artigo tem por finalidade usar a experiência obtida nas últimas duas grandes catástrofes enfrentadas pelo Brasil para explorar oportunidades de melhorias nos procedimentos dos diversos níveis do SisDefNBQR-MB. Os objetivos são apresentar um histórico do emprego de agentes NBQR e o surgimento das

medidas de resposta e gerenciamento a esses eventos através dos tempos, para contextualizar o papel do Corpo de Fuzileiros Navais (CFN) na DefNBQR no âmbito MB e esta no âmbito geral das Forças Armadas (FFAA) do Brasil. Posteriormente, conforme experiências dos militares que trabalharam nas Equipes da linha de frente e no Apoio Logístico dessas operações, abordar o aspecto da Logística de transportes de suprimentos, modelando o Método de P-Mediana, e gerar uma ferramenta para um decisor que queira mobilizar determinado número de instalações logísticas com materiais de DefNBQR, de forma a atender todas as Equipes Distritais com o custo, tempo e distância mínimos.

2. Desenvolvimento

2.1. Histórico e conceitos

Se manipulados e utilizados da forma correta, os agentes NBQR podem trazer uma série de vantagens, notadamente na melhoria de diversos processos citados a seguir, e consequentemente na qualidade de vida da população em geral. Nos químicos, a amônia, que é utilizada nos grandes sistemas de refrigeração industriais é um gás sufocante, assim como a forma gasosa do cloro, substância usada para purificar água, presente em todas as estações de tratamento de água e esgoto. As pesquisas por novas vacinas e remédios requerem a manipulação de agentes biológicos ativos, além dos processos de fermentação de alimentos, agidos por fungos. O uso da radioatividade em terapias médicas, como o Raio-X e até mesmo no tratamento do câncer. As usinas nucleares como um dos melhores exemplos de geração de energia com baixa produção de resíduos. Os exemplos são vários.

Porém, esses agentes também são conhecidos pelos seus usos bélicos, área na qual são consideradas armas não convencionais, causando um número de baixas muito maior do que as convencionais, daí sua caracterização como armas de destruição em massa. A utilização de substâncias químicas incendiárias vem desde a Antiguidade, porém foi a partir do surgimento da Indústria Química no final do Século XIX que possibilitou o uso dos agentes químicos em grande escala. O próprio cloro foi amplamente utilizado no teatro europeu na Primeira Guerra Mundial, onde o

gás, mais pesado que o ar, era dispersado a favor do vento, inundando as trincheiras inimigas, obrigando-os a abandonar os abrigos dos fogos diretos para não sufocar. Outros gases foram sendo desenvolvidos na busca de driblar as proteções respiratórias então utilizadas, como o gás mostarda, agente químico vesicante, causando queimaduras na pele, o que obrigava as tropas a operarem vestindo roupas impermeáveis, diminuindo em muito seu poder de combate.

Devido ao sofrimento desumano causado pela ação de tais agentes, em 1925 o Protocolo de Genebra proibiu o uso, porém não a posse das armas químicas e biológicas de guerra. Dessa forma o desenvolvimento continuava. O Japão conduziu a partir de 1932 até o final da Segunda Guerra Mundial, experimentos com agentes biológicos de antraz, cólera e peste. Ainda durante a Segunda Guerra desenvolveram-se os mais potentes agentes químicos, os neurotóxicos, ou agentes dos nervos, produzidos a custos muito baixos, porém o desestímulo causado pelo Protocolo de Genebra e o fato das partes beligerantes já estarem melhor preparadas para defender-se dessas ameaças atingiram seus objetivos, e essas armas não foram amplamente empregadas nessa guerra. O exemplo mais marcante que teremos do uso de agentes NBQR em guerra é o lançamento das duas bombas nucleares em território japonês pelos Estados Unidos, ainda durante a Segunda Guerra Mundial. A primeira, batizada de *Little boy*, foi lançada da manhã do dia 06 de agosto de 1945, e embora os números não sejam definitivos, estima-se que tenha matado um total de 140 mil dos 350 mil habitantes de Hiroshima: 70 mil instantaneamente, outras mais de 60 mil até o final de 1945 vítimas da radiação e suas sequelas. Três dias depois, a segunda bomba, *Fat Man*, seria lançada em Nagasaki, onde o número de mortos estima-se em mais de 70 mil. Com o final da Segunda Guerra e início da Guerra Fria o acúmulo de armas de destruição em massa continuou. Entretanto a preocupação dos países com o poder desse tipo de armas acabou por originar alguns tratados. Em 1968 foi assinado o tratado de Não-proliferação de armas nucleares, que seria complementado em 1995, proibindo o desenvolvimento e aquisição de armas nucleares e o desarmamento gradual dos países com armas nucleares. Além disso, em 1972 foi assinada a Convenção sobre Proibição de Armas Biológicas, tratado multilateral de desarmamento para eliminar

esse tipo de armas de destruição em massa. Em 1993 foi assinada a Convenção de Proibição de Armas Químicas.

Porém, ainda depois dos tratados, em 1994 o agente Sarin, neurotóxico desenvolvido durante a Segunda Guerra, foi utilizado em um ataque terrorista no Japão fazendo mais de 200 vítimas, 7 delas fatais. Em 1995 o mesmo grupo utilizou-se novamente do sarin para um ataque agora no metrô de Tóquio, fazendo dessa vez mais de 5 mil vítimas, sendo 12 fatais. Em 2003 sobre o pretexto da existência de armas de destruição em massa, os Estados Unidos invadiram o Iraque. Tais fatos levantam o alerta à sociedade internacional, mesmo à luz de tratados multilaterais, sobre a ameaça do terrorismo e seu interesse em armas de baixo custo, que causam grande sofrimento e terror, característica dos agentes NBQR. Ainda como exemplos de potenciais usos de agentes NBQR para atos terroristas, estão as “bombas sujas”: agentes radiológicos conjugados com artefatos explosivos, de forma que além do efeito nocivo imediato da explosão, esta ainda dispersa o agente no ambiente, causando um dano secundário muito mais complexo de lidar.

Indo além dos males intencionais (quais sejam seus usos bélicos), ainda há o risco atrelado aos acidentes envolvendo os agentes NBQR. O erro humano é comumente observado em acidentes laborais, e erros envolvendo trabalhos com agentes desse tipo podem sair de controle rapidamente. No Brasil, um erro no descarte de uma máquina de radioterapia causou em Goiânia o maior acidente radiológico do mundo, resultando na monitoração de 113 mil pessoas, 3500m³ de rejeito radioativo e 14 vítimas letais. Provavelmente o mais famoso exemplo de erro humano é o caso da Usina Nuclear de Chernobyl, ocorrido em 1986 antiga Ucrânia Soviética, quando durante um exercício os operários envolvidos não detectaram uma falha no reator, causando a sua explosão. A fumaça gerada pelo incêndio com material radioativo foi liberada no ar livre durante 9 dias. A quantidade de mortos é controversa, devido a alguns males e efeitos da radiação serem crônicos, mas dentre os números confirmados, 2 morreram ainda dentro da instalação: 1 morte diretamente pela explosão e 1 por dose letal de radiação. Nas primeiras semanas, somaram-se 134 militares internados com Síndrome da Radiação Aguda, dentre eles 28 mortos em meses, e mais 14 dentro de 10 anos por câncer induzido por radiação. Houve um aumento no número de mortes de crianças por câncer de tireoide na

população local, toneladas de rejeitos radiológicos gerados, e uma crise política instaurada. Porém outro fator além do erro humano causou outro acidente de igual proporções no Japão, em 2011: um desastre natural. Um terremoto acima do previsto pelos cálculos de construção das barreiras de segurança da Usina Nuclear de Fukushima gerou um acidente que traz graves consequências ao país até os dias de hoje.

Tais acontecimentos ao longo dos anos acabaram por gerar melhorias nos sistemas de prevenção e reposta a acidentes envolvendo agentes NBQR, não só na área militar, mas também nos órgãos de defesa civil. Além dos avanços nos equipamentos, as doutrinas vão sendo aperfeiçoadas a cada nova experiência, e os sistemas de gerenciamento aperfeiçoados. No Brasil, a Estratégia Nacional de Defesa, estabelecida pelo Decreto 6.703 de 2008, estabelece o setor nuclear como um dos setores tecnológicos estratégicos essenciais para a defesa nacional. A Diretriz ministerial número 14 de 2009, atribui à Marinha do Brasil a responsabilidade de coordenar e integrar os programas e ações atinentes ao setor nuclear. Em 2010 o Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas aprova o objetivo setorial específico para o setor nuclear de propor a implantação de um Sistema de Defesa Nuclear, Biológica e Química no âmbito das Forças Armadas. Em 2011 é criado o Sistema de Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica da Marinha do Brasil (SisDefNBQR-MB) que seria definido em uma portaria de atualização em 2016 como sendo o conjunto de estruturas organizacionais da MB que exercem atividades operacionais, logísticas, de inteligência, de capacitação de pessoal e de ciência e tecnologia relacionado ao combate a emergências de natureza nuclear, biológica, química e radiológica, no contexto das Operações Navais e das Atividades de Emprego Limitado de Força e Atividades Benignas, em estreita cooperação com o órgão central do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC). Além disso, o mesmo documento designa o Comando-Geral do Corpo de Fuzileiros Navais como Coordenador-Geral do SisDefNBQR-MB. Dessa forma, cabe ao Corpo de Fuzileiros Navais a responsabilidade de desenvolver, implementar, orientar, preparar e aplicar a doutrina de DefNBQR perante a MB, e esta, perante ao Brasil.

O SisDefNBQR-MB é composto por Organizações Militares (OM), divididas em níveis por suas tarefas e responsabilidades, conforme tabela a seguir:

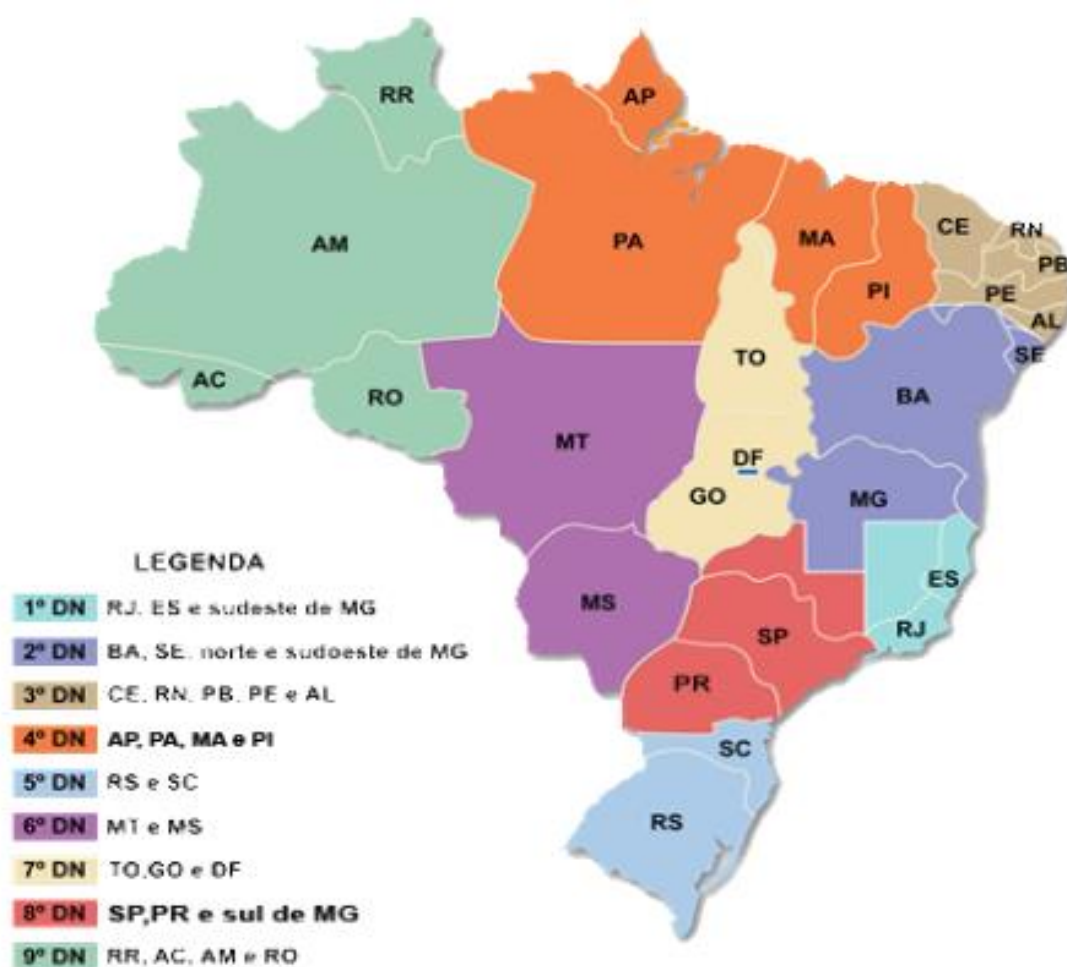
Tabela 1 - Estrutura do SisDefNBQR-MB

Nível	Organizações Militares (ou estruturas)	Propósitos
1º	Centro de Instrução Almirante Sylvio de Camargo (CIASC), Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação da Marinha do Brasil (SCTMB), Sistema de Inteligência da Marinha (SIMAR), Comando do Material de Fuzileiros Navais (CMatFN), Centro Tecnológico do Corpo de Fuzileiros Navais (CTecCFN), etc.	Capacitação, Ciência e Tecnologia, Inteligência, Logística e no tocante à prevenção no nível Operacional
2º	Equipes de Resposta Nuclear, Biológica, Química e Radiológica (EqRspNBQR) distritais, além de um militar especialista em DefNBQR por OM	Atender os requisitos operacionais de detecção, identificação e descontaminação dentro de suas capacidades
3º	Batalhão de Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica (BtlDefNBQR) do Comando da Tropa de Reforço.	Atender aos requisitos operacionais de resposta, principalmente as que estiverem acima da capacidade do 2º Nível.
4º	Batalhão de Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica de Aramar (BtlDefNBQR-ARAMAR) e o futuro BtlDefNBQR de Itaguaí	Atender as instalações sensíveis da MB
5º	Centro de Defesa Nuclear, Biológica, Química e Radiológica da Marinha do Brasil (CDefNBQR-MB)	Coordenar, integrar as atividades de DefNBQR, mantendo um canal técnico e supervisionando os demais níveis

Fonte: Autor (2021)

No contexto de atendimento a emergências, cabe ressaltar o Nível 2 do SisDefNBQR-MB, composto pelas Equipes de Resposta NBQR (EqRspNBQR) de cada um dos Distritos Navais. Para fins administrativos, a MB dividiu o território brasileiro em 9 áreas de jurisdição, denominadas Distritos Navais (DN), conforme mostra a imagem a seguir:

Figura 1 – Distritos Navais



Fonte: Marinha do Brasil (2021)

Cada Distrito Naval possui uma As funções do 2º Nível do 1º Distrito Naval são atribuídas ao próprio Batalhão de Defesa NBQR (BtlDefNBQR) fundado esse ano e localizado no Complexo Naval da Ilha das Flores, em São Gonçalo, originado a partir da Companhia de DefNBQR, antes pertencente ao Batalhão de Engenharia de Fuzileiros Navais, que já cumpria essas funções anteriormente.

Nos últimos anos ocorreram, no território nacional e no mundo, acontecimentos que demonstraram que a importância do preparo da DefNBQR está mais atual do que nunca. Em 2019, um grande derramamento de óleo bruto no Oceano Atlântico atingiu a costa brasileira, alcançando uma faixa litorânea de 4.334 km, de 11 estados e 120 municípios da Região Nordeste e Sudeste, do Oiapoque ao Espírito Santo. Mais de 5 mil toneladas de rejeito foram retiradas das praias. Segundo Pena (2019), O petróleo é uma mistura de diversos compostos tóxicos não só pela ingestão e inalação de seus gases, mas também pela absorção através da pele, mesmo íntegra. Doenças cancerígenas, alterações hepáticas, renais, hormonais, respiratórias e até psicológicas e cerebrais estão em diversos estudos associadas àqueles. Além do risco imediato por contaminação direta, ainda há a preocupação com a contaminação indireta pela ingestão de alimentos oriundos das fontes marítimas contaminadas. As consequências econômicas principalmente pelo prejuízo ao turismo e a própria pesca, por exemplo, vêm para piorar ainda mais a já caótica situação. A Marinha do Brasil atuou coordenando as ações de responsabilidade dos diversos Estados e Municípios, principalmente pelo caráter marítimo das áreas afetadas, e auxiliando na limpeza das praias através da Operação “Amazônia Azul – Mar limpo é vida”, na qual empregou 4.950 militares especialmente treinados, 30 navios e 11 aeronaves diretamente na busca e limpeza do óleo, segundo dados da própria MB. Quer seja nas praias com recifes de rochas e corais, mas principalmente nos leitos dos rios (berçários de grande parte da vida marinha) a velocidade da chegada das equipes de limpeza nos locais foi fator primordial para minimizar os danos causados pela chegada das manchas.

Ainda no Final de 2019, aparece na região de Wu-han, na China, o agente que mais afetaria a vida humana no Mundo no último século. Embora muitos países estejam sob uma situação controlada, O Sars-CoV-2, vírus causador da CoViD-19, continua matando pessoas em todo mundo, chegando aproximadamente, nos dias de hoje, a alarmante marca de 3 milhões e 900 mil mortes. A pandemia mostrou ao mundo a sua própria fragilidade frente ao “inimigo silencioso” e ao risco de futuras catástrofes causadas por agentes dessa natureza, sejam estas por causas naturais ou intencionais (O “Bioterrorismo”). Além dos militares da área da saúde reforçando a campanha de vacinação, a Marinha do Brasil atua através das EqRspNBQR

Distritais desde o início da pandemia realizando desinfecções em diversos órgãos e locais públicos pelo Brasil. A demanda por EPI's e suprimentos relacionados a desinfecção superou em muito as expectativas durante o surto da doença devido ao despreparo mundial frente a uma ameaça totalmente atípica, e a falta desses insumos assolou inclusive hospitais. Mesmo com a escassez, as Equipes mantiveram suas atividades.

2.2. Cadeia de Suprimentos e o Método das P-Medias

Segundo os militares componentes das Equipes, manter o estoque de suprimentos em nível adequado foi a principal dificuldade encontrada, principalmente no surto da pandemia. No que diz respeito aos equipamentos e suprimentos necessários para o cumprimento adequado das tarefas, uma cadeia logística funcionando mais rapidamente poderia evitar dificuldades relativas à obtenção dos materiais principalmente em tempos de crise geral, com a referida escassez de Bens de Consumo. Será tomada como base a pior hipótese, sendo essa uma situação semelhante a ocorrida no surto da CoViD-19, havendo demanda de suprimentos e meios por tempo indeterminado para as EqRspNBQR de todos os Distritos de forma igualitária. A grande pergunta a ser respondida é a seguinte: Fazendo uma previsão, buscando contrapor-se a essa situação, onde seria melhor que meus meios estivessem concentrados, de forma a minimizar a soma das distâncias e, conseqüentemente, os custos envolvidos e o tempo de resposta para os DN a serem atendidos? O Problema de P-Medias será modelado de forma genérica, podendo ser utilizado futuramente em casos onde o decisor deseje posicionar um número diferentes de medianas dos que serão mostrados no estudo.

2.2.1. Modelagem matemática – Revisão bibliográfica

Segundo Garey e Johnson (1979) e Stefanello (2011) a localização de P-medias é tida como um problema difícil. Os métodos exatos tem uma característica importante, que é a garantia de obter a solução ótima para o problema, porém serão eficientes apenas em sistemas de pequeno porte. A depender do número de medianas (loais onde será posicionado determinada facilidade) e do número total de nós (loais a serem atendidos por essas facilidades) podem exigir

tempos demasiadamente grandes para serem resolvidas até mesmo por sistemas computacionais potentes, não sendo viáveis. Porém, da forma simplificada que foi pensado, o problema do presente estudo pode ser resolvido em poucos segundos mesmo por um computador simples.

Trata-se de um estudo que tem diversas aplicações relevantes para a sociedade, como por exemplo o ponto de coleta de dados das urnas no processo eleitoral (Correia et al., 2010)

Segundo Christofides (1975), o PPM pode ser formulado como um problema de programação linear inteira binária, da seguinte forma:

$$Z = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij}. \quad (1)$$

$$\text{sujeito a: } \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j \in N. \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ii} = p. \quad (3)$$

$$x_{ij} \leq x_{ji} \quad i, j \in N. \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad i, j \in N. \quad (5)$$

Sendo D_{ij} a matriz de distâncias entre os n nós do sistema, e X_{ij} a matriz de alocação, onde $x_{ij} = 1$ se o vértice i é alocado ao vértice j e $x_{ij} = 0$, caso contrário. $x_{ii} = 1$ caso o vértice i seja uma mediana e $x_{ii} = 0$, caso contrário. p será o número de medianas a serem selecionadas. A função (1) minimiza a soma das distâncias os vértices i e j . As restrições (2) e (4) garantem que cada vértice j seja alocado para um único vértice i , que será uma mediana. A restrição (5) garante a natureza binária da matriz alocação. A restrição (3) nos dará o número p de medianas a serem alocadas no sistema

2.2.2. Estruturação Lógica do Problema matemático

Para solucionar nosso problema matemático utilizaremos o aplicativo *Microsoft Excel*, através da ferramenta “*Solver*”, que embora não seja uma ferramenta aberta, foi escolhida devido ao uso do aplicativo ser amplamente difundido na MB, tornando-se dessa forma mais acessível a este público alvo. De

início, será formada uma tabela com as distâncias entre os pontos de origem e de destino que será utilizada como nossa tabela “Custo”. Consideraremos estes pontos a partir das cidades onde estão sediados os Distritos Navais, com exceção do 8º DN, que está sediado em São Paulo, capital, porém já possui Batalhão de Defesa NBQR em Aramar, que embora pertença ao 4º Nível e seja vocacionada para atender somente as instalações do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP), atualmente também assume as tarefas do 2º Nível, sendo assim o local mais lógico para ocasionalmente posicionar meios em proveito de sua especialidade. Caso uma cidade seja escolhida como mediana, o custo de envio para ela mesma obviamente será nulo. As distâncias consideradas entre as cidades são em linha reta, tendo em vista que o modal utilizado em uma emergência para transporte dos suprimentos será muito provavelmente o aéreo, dada a necessidade de rapidez no atendimento e velocidade do modal. As distâncias foram retiradas do site *Google Earth*. Dessa forma temos a seguinte tabela “custo”:

Figura 2 – Tabela custo em função das distâncias

Distância aproximada em KM									
Origem	Destino								
	1º DN	2º DN	3º DN	4º DN	5º DN	6º DN	7º DN	8º DN	9º DN
1º DN	0	1232	2102	2448	1525	1380	1380	426	2837
2º DN	1232	0	870	1693	2550	2156	1068	1497	2615
3º DN	2102	870	0	1549	3415	1713	1774	2358	2762
4º DN	2448	1693	1549	0	3434	2191	1597	2430	1288
5º DN	1330	2550	3415	3434	0	1558	1866	1078	3341
6º DN	1525	2156	1713	2191	1558	0	1089	1134	1798
7º DN	1380	1068	1774	1597	1866	1089	0	833	1941
8º DN	426	1497	2358	2430	1078	1134	833	0	2605
9º DN	2837	2615	2762	1288	3341	1798	1941	2605	0

Fonte: Autor (2021) baseado em *Google Earth*. (2021)

Será criada também uma tabela auxiliar, que será denominada tabela “Decisão”, com a mesma configuração da tabela “Custo”, porém ao invés das distâncias, teremos códigos de decisão binários, garantidos pela restrição (5) da modelagem matemática, repetida a seguir:

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad i, j \in N. \quad (5)$$

Caso determinada origem atenda a determinado destino o algarismo inserido na tabela será 1 e caso ele não atenda, o algarismo será 0. Dessa forma teremos uma tabela que mostra qual origem atenderia qual destino em determinada solução. Será criada ainda uma coluna auxiliar, também binária, denominada “Seleção”, referente a cada origem, indicando se foi selecionada como fonte de meios. Caso uma origem atenda a pelo menos um destino o algarismo atribuído será 1, e caso não atenda a nenhum destino, será 0. O Somatório de toda essa coluna será igual ao número p de medianas desejado. Essa estruturação equivale às restrições (3) e (4):

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = p. \quad (3)$$

$$x_{ij} \leq x_{ji} \quad i, j \in N. \quad (4)$$

Outra condição para minimizar o custo será que cada destino deverá ser atendido por somente uma origem (aquela dentre as escolhidas que está a uma menor distância do destino), mas também deve-se garantir que nenhum destino ficará sem ser atendido por uma origem. Dessa forma, será criada também uma linha auxiliar, denominada “Soma”, sendo o somatório de quantas origens servem aquele destino, devendo essa soma ser exatamente igual a 1, equivalendo a restrição (2):

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad j \in N. \quad (2)$$

A tabela ficará então da seguinte forma:

Figura 3 – Estrutura da matriz decisão

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
16		Destino									
17	Origem	1º DN	2º DN	3º DN	4º DN	5º DN	6º DN	7º DN	8º DN	9º DN	Seleção
18	1º DN										
19	2º DN										
20	3º DN										
21	4º DN										
22	5º DN										
23	6º DN										
24	7º DN										
25	8º DN										
26	9º DN										
27	Soma	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Fonte: Autor (2021)

Será inserido uma célula de entrada, na qual será inserido o número p de medianas desejadas no sistema. Para exemplificar, serão requeridas 2 medianas. Todas as restrições já tratadas foram inseridas na ferramenta *Solver*:

Figura 4 – Parâmetros Solver

Fonte: Autor (2021)

O resultado seguinte foi encontrado em aproximadamente 13 segundos:

Figura 5 – Solução variáveis de decisão

Variáveis de Decisão										
Origem	Destino									Seleção
	1º DN	2º DN	3º DN	4º DN	5º DN	6º DN	7º DN	8º DN	9º DN	
1º DN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2º DN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3º DN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4º DN	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
5º DN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6º DN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7º DN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8º DN	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1
9º DN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Soma	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Fonte: Autor (2021)

O 8º DN em São Paulo, tendo por base o Batalhão de DefNBQR de Aramar e o 4º DN, sediado em Belém, Pará, foram encontrados na solução, com o 4º DN atendendo ao 3ºDN em Natal, e ao 9º DN em Salvador, além dele próprio. O 8º Atenderia a todos os demais. O custo total foi de 7805 km. Nota-se que como o *Solver* encontrou uma solução para o problema, as condições foram perfeitamente satisfeitas, com cada destino sendo atendido por somente uma origem e o custo minimizado. Essa foi a solução do método exato. Não houve necessidade de aplicação de métodos heurísticos, devido a simplicidade do sistema. A seguir, o método será aplicado à uma situação onde as decisões não dizem respeito puramente aos custos envolvidos, e com alguns ajustes, o mesmo ainda será útil ao problema.

2.2.3. Desdobramentos da aplicação

É difícil prever os fatores de decisão que envolvem o desenvolvimento da DefNBQR na MB, assim como qualquer assunto de nível estratégico. A necessidade de conhecer tais fatores fica restrita ao alto escalão e não é objetivo desse estudo aprofundar em outros fatores que influenciariam a decisão de abrir novos depósitos ou a mudança de local dos existentes. Porém serão tomadas como exemplo a situação atual do SisDefNBQR-MB para criar suposições mais próximas a realidade. A MB já possui certa concentração de meios de DefNBQR, tanto nos Batalhões voltados para esse fim, citados anteriormente, quanto no Comando de Materiais de Fuzileiros Navais (CMatFN) por ser órgão logístico responsável direto pelos suprimentos de DefNBQR do CFN. A suposição feita será a seguinte: Além do 8º DN (onde está localizado o Batalhão de DefNBQR de Aramar) e do 1º DN (onde está localizado do Batalhão de DefNBQR da Tropa de Reforço e o CMatFN), decidiu-se por estabelecer mais um depósito no sistema, de forma a minimizar a soma das distâncias e, conseqüentemente, os custos envolvidos e o tempo de resposta para todos os DN.

A modelagem matemática não mudaria em nada, de forma que aplicaríamos somente mais duas restrições ao *Solver*: O Campo “Decisão” das origens “1º DN” e

“8º DN” devem ser iguais a 1. O valor p será igual a 3. Rodando no solver o resultado foi:

Figura 6 – Variáveis solução com 1º DN

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
15	Variáveis de Decisão										
16		Destino									
17	Origem	1º DN	2º DN	3º DN	4º DN	5º DN	6º DN	7º DN	8º DN	9º DN	Seleção
18	1º DN	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
19	2º DN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	3º DN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	4º DN	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1
22	5º DN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	6º DN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	7º DN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	8º DN	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1
26	9º DN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	Soma	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Fonte: Autor (2021)

O 4º DN ainda se manteve na solução, com o 1º DN agora atendendo a ele mesmo e ao 2º DN, Salvador, além do 8º DN ainda com a maior responsabilidade. O custo total foi de 7114 km, semelhante aos 7805 km encontrados com apenas 2 medianas, não sendo consideravelmente vantajosa, do ponto de vista de transporte de suprimentos, tal solução.

Dentro do nosso problema, tomando como hipótese a mudança de local de um depósito existente ou a alocação de um novo, o 4º DN apareceu como localização ideal para atender os DN mais ao norte do país.

3. CONCLUSÃO

Conforme observado nas situações citadas nesse estudo, as catástrofes envolvendo agentes NBQR não estão nem um pouco longe da nossa realidade, pelo contrário. Conforme a sociedade avança, os riscos aumentam, e a melhoria dos sistemas de prevenção e resposta se torna cada vez mais necessárias. Um sistema cada vez mais ramificado facilita o atendimento aos locais mais distantes do eixo sudeste do país. O Problema de P-Medianas se mostrou eficaz na escolha de novos

locais, baseada em um sistema simplificado tomando como base a atual situação do SisDefNBQR-MB.

As EqRspNBQR Distritais, já existentes, representam um grande passo dado nessa busca por ramificação. Talvez uma ampliação de suas capacidades já seja suficiente para atendimentos a níveis emergenciais, ao invés da criação de uma instalação centralizadora de meios. Sabe-se ainda que a distribuição demográfica do Brasil está concentrada em sua maior parte na região Sudeste, assim como grande parte da indústria e centros tecnológicos, o que pode fazer com que os riscos de acidentes nessas localizações sejam maiores, gerando pesos a serem considerados nos cálculos. Embora a atual estrutura e localização das OM de 2º, 3º e 4º Níveis do SisDefNBQR-MB já favoreçam a resposta dessas duas hipóteses citadas, tais abordagens não foram feitas no presente estudo, se apresentando como oportunidades para estudos futuros.

Cabe ressaltar ainda que o método servirá apenas como uma forma de assessorar decisões que venham a ser tomadas nesse sentido, uma vez que envolve uma série de outros fatores, inclusive a nível operacional e estratégico.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Comando-Geral do Corpo de Fuzileiros Navais. **CGCFN 10.3. Manual de Defesa Nuclear, Biológica Química e Radiológica**. Rio de Janeiro: Comando-Geral do Corpo de Fuzileiros Navais, 2020.

_____. Presidência da República. **Decreto nº 6.703 de 18 de dezembro de 2008. Estratégia Nacional de Defesa**. Brasília, 2009.

_____. Ministério da Defesa. **Diretriz Ministerial nº 14 de 09 de novembro de 2009. Integração e Coordenação dos Setores Estratégicos da Defesa**. Brasília 2010.

_____. Estado-Maior da Armada. **Portaria nº 132 de 2016**. Brasília: Estado- Maior da Armada, 2017.

PENA, P. G. L. **Derramamento de óleo bruto na costa brasileira em 2019: emergência em saúde pública em questão.** Scientific Electronic Library Online. SciELO Brasil, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/csp/a/RdpV54PDWjxktvSjhJRCvTP/>>. Acesso em: 20 junho 2021.

MARINHA DO BRASIL (MB). **Combate ao Óleo.** Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/combate-ao-oleo>>. Acesso em: 22 junho 2021

GAREY, M. R. AND JOHNSON, D. S. **Computers and intractability: a guide to the theory of NP-completeness**, W. H. Freeman and Co., San Francisco. 1979.

STEFANELLO, F. **Hibridização de Métodos Exatos e Heurísticos para Resolução de Problemas de Otimização Combinatória.** Dissertação da Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Informática, RS, 2011.

CORREIA, J.H.; SOUSA FILHO, G.F.; NASCIMENTO, I.Q.; FORMIGA, L.A.C.; NASCIMENTO, R.Q. **Otimização e implementação de um sistema de alocação ótima de serviços públicos utilizando a meta-heurística Grasp.** XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Bento Gonçalves, Brasil, Setembro de 2010.

CHRISTOFIDES, N. **Graph theory – An algorithmic approach.** New York: ed. Academic Press, 1975.

GOOGLE EARTH. <https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>. Acesso em: 22 junho 2021

MARINHA DO BRASIL (MB). **Você sabe o que é um distrito naval?**. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/sspm/?q=noticias/voc%C3%AA-sabe-o-que-%C3%A9-um-distrito-naval-dn>>. Acesso em 30 junho 2021.