INSTITUTO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
Fluminense

MINISTÉRIO DA
EDUCAÇÃO

PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MODALIDADE PROFISSIONAL

APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP NA PRIORIZAÇÃO DE ENVIO DE RECURSOS PARA PESQUISA DE ALVOS SUSPEITOS DE CONTER MATERIAL PETROGÊNICO NA SUPERFÍCIE DO MAR

JULIANA FERNANDES MOREIRA

MACAÉ-RJ

2021

JULIANA FERNANDES MOREIRA

APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP NA PRIORIZAÇÃO DE ENVIO DE RECURSOS PARA PESQUISA DE ALVOS SUSPEITOS DE CONTER MATERIAL PETROGÊNICO NA SUPERFÍCIE DO MAR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, área de concentração Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação.

Orientador(a): Dr. Marcos Antônio Cruz Moreira
Coorientador(a): Dr. Augusto Eduardo Miranda Pinto

MACAÉ-RJ

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M838a Moreira, Juliana Fernandes, 1984-.
Aplicação do método AHP na priorização de envio de recursos para pesquisa de alvos suspeitos de conter material petrogênico na superfície do mar / Juliana Fernandes Moreira. — Macaé, RJ, 2021.
x, 101 f.: il. color.

Orientador: Marcos Antônio Cruz Moreira, 1964-.
Coorientador: Augusto Eduardo Miranda Pinto, 1963-.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Macaé, RJ, 2021.
Inclui referências.
Área de concentração: Sustentabilidade Regional.
Linha de Pesquisa: Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação.

1. Derramamento de óleo - Aspectos ambientais – Brasil. 2. Água - Poluição por petróleo – Campos, Bacia de (RJ e ES). 3. SAR (Synthetic Aperture Radar) – Radar. 4. Imagens de sensoriamento remoto. 5. Analytic Hierarchy Process. I. Moreira, Marcos Antônio Cruz, 1964-, orient. II. Pinto, Augusto Eduardo Miranda, 1963-, coorient. III. Título.

CDD 363.73940981 (23. ed.)

Bibliotecário-Documentalista |Daviane da Silva Ribeiro | CRB-7/ 6441

Dissertação intitulada **APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP NA PRIORIZAÇÃO DE ENVIO DE RECURSOS PARA PESQUISA DE ALVOS SUSPEITOS DE CONTER MATERIAL PETROGÊNICO NA SUPERFÍCIE DO MAR**, elaborada por Juliana Fernandes Moreira e apresentada, publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense - IFFluminense, na área concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Desenvolvimento, Sustentabilidade e Inovação.

Aprovado em: 22/10/2021

Banca Examinadora:

Marcos Antonio Cruz Moreira, Doutor em Engenharia Elétrica / Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) _ orientador

Augusto Eduardo Miranda Pinto, Doutor em Direito da Cidade / Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) _ co-orientador

Alline Sardinha Cordeiro Morais, Doutora em Engenharia e Ciência dos Materiais / Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Instituto Federal Fluminense (IFFluminense)

Severino Joaquim Correia Neto, Doutor em Ciências da Educação/ Universidad Americana, Paraguai, Instituto Federal Fluminense (IFFluminense)

CARLOS FREDERICO DE OLIVEIRA BARROS
carlosfredericobarros@id.uff.br:30674000706

Assinado de forma digital por CARLOS FREDERICO DE OLIVEIRA BARROS carlosfredericobarros@id.uff.br:30674000706
Dados: 2021.10.25 19:33:34 -03'00'

Carlos Frederico de Oliveira Barros, Doutor em Engenharia de Produção/ Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Federal Fluminense

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha querida avó Palmira.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meu esposo Fernando e meu filho Pedro, pela paciência. Agradeço também a todos aqueles que me apoiaram durante este caminho. Muito obrigada.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 área de coleta de dados para analise, compreendendo dados de monitoramento orbital e resultados de buscas 17
Figura 2: imagem processada e obtida pelo satélite Sentinel-1A, abrangendo a área de interesse com feições com suspeita de óleo na superfície do mar. 19
Figura 3: 03a (esquerda) e 03b (direita): correlação entre os ventos médio e linha de tendência para o estudo. 21
Figura 4: histograma com os dados de vento para o período em estudo. 22
Figura 5: boxplots representando os horários de identificação de alvos/feições com seus respectivos dados de intensidade de vento 23
Figura 6: boxplots representando as identificações dos alvos/feições com dados de intensidade de vento coletados durante as aquisições de imagens. 24
Figura 7: figura contendo os resultados das múltiplas comparações através do Tukey Honest Significant Difference (HSD) 26
Figura 8: figura contendo os resultados das múltiplas comparações através do Tukey Honest Significant Difference (HSD) 26
Figura 9: figura contendo lista de vazamento de óleo desde 1967. 35
Figura 10: Hierarquia do método AHP 54
Figura 11: formulação do teste de hipóteses 59
Figura 12: apresentação do gráfico com o quantitativo relativo da variável Forma 61
Figura 13: boxplot com a apresentação da variável Tempo para cada saída da variável Resposta 62
Figura 14: boxplot com a apresentação da variável Tempo pela Forma em cada reposta as buscas 63
Figura 15: gráfico com a apresentação da variável Contraste em cada reposta as buscas 64
Figura 16: bloxplot com a apresentação da variável Contraste e sua relação com a variável Tempo 65
Figura 17: bloxplot com a apresentação da variável Contraste e sua relação com a variável Vento 66
Figura 18: gráfico com a apresentação da variável Dimensões 67
Figura 19: bloxplot com a apresentação da variável Dimensões e sua relação com a variável Forma 68
Figura 20: gráfico com a apresentação da variável Vento 69
Figura 21: bloxplot com a apresentação da variável Vento e sua relação com a variável Forma 69
Figura 22: relação da variável Tempo (Minutos) com a variável Resposta 73
Figura 23: gráfico com teste para identificação de *outliers* – resíduos padronizados *versus* postos de alavancagem 75
Figura 24: gráfico da identificação da variável Tempo (Minutos) pela variável Resposta 76

Figura 25: gráfico com a identificação de variáveis preditoras 78
Figura 26: gráfico com teste para identificação de outliers – resíduos padronizados versus postos de alavancagem 79
Figura 27: gráfico da identificação da variável Tempo (Minutos) pela variável Resposta 80
Figura 28: gráfico com a identificação de variáveis preditoras 81
Figura 29: gráfico com teste para identificação de outliers – resíduos padronizados versus postos de alavancagem 82
Figura 30: gráfico da identificação da variável Tempo (Minutos) pela variável Resposta 83
Figura 31: gráfico com a identificação de variáveis preditoras 85
Figura 32: hierarquização para tomada de decisão pelo método AHP com o objetivo de envio de recurso, com seus critérios e intensidades, bem como os devidos pesos aplicados 86
Figura 33: prioridades estabelecidas no software SuperDecisions 93
Figura 34: gráfico gerado pelo software SuperDecisions para priorização das feições/alvos para envio de recursos 94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: ANOVA One-Way, comparação entre as médias de vento pela morfologia das formas apresentadas por imageamento. 25
Tabela 2: Índice Aleatório 56
Tabela 3: resumo das predições de todas as variáveis observadas no Modelo 1 72
Tabela 4: Comparativo entre os valores de AIC e BIC para cada modelo segregados por tempo de chegada do recurso 74
Tabela 5: identificação de multicolinearidade 75
Tabela 6: Teste de Verossimilhança 76
Tabela 7: resumo das predições de todas as variáveis observadas no Modelo 2 77
Tabela 8: identificação de multicolinearidade 79
Tabela 9: Teste de Verossimilhança 80
Tabela 10: resumo das predições de todas as variáveis observadas no Modelo 2 81
Tabela 11: identificação de multicolinearidade 82
Tabela 12: Teste de Verossimilhança 83
Tabela 13: resumo das predições de todas as variáveis observadas no Modelo 2 84
Tabela 14: matriz de comparações par a par 87

Tabela 15: Normalização dos dados da matriz de comparações para os critérios 87
Tabela 16: matriz de consistência para os critérios 89
Tabela 17: matriz de comparação par a par para o critério Tempo, definição do vetor prioridade e dos valores de ʎmax, CI e CR 89
Tabela 18: matriz de comparação par a par para o critério Forma, definição do vetor prioridade e dos valores de ʎmax, CI e CR 90
Tabela 19: matriz de comparação par a par para o critério Dimensões, definição do vetor prioridade e dos valores de ʎmax, CI e CR 90
Tabela 20: matriz de comparação par a par para o critério Contraste, definição do vetor prioridade e dos valores de ʎmax, CI e CR 91
Tabela 21: matriz de comparação par a par para o critério Vento, definição do vetor prioridade e dos valores de ʎmax, CI e CR 91
Tabela 22: Matriz contendo as prioridades locais e globais para priorização do envio de recurso, software Microsoft Excel® 93
Tabela 23: matriz de consistência para os critérios Forma e Tempo com o mesmo peso (1) 95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Escala Fundamental 55

LISTA DE ABREVITURAS E SIGLAS

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

ANP - Agência Nacional de Petróleo

BTEX - benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno

CEDRO - Capacidade Efetiva Diária de Recolhimento de Óleo

CLC/69 - Convenção Internacional sobre Responsabilidade Civil em Danos por Poluição por Óleo

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

EB - Exército Brasileiro

ESA - *European Space Agency*

FAB - Força Aérea Brasileira

FEMA - *Federal Emergency Management Agency*

FPSO - *Floating Production Storage and Offloading*

HPA - hidrocarbonetos poliaromáticos

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

IMO - *International Maritime Organization*

ITOPF - *International Tanker Owners Pollution Federation*

m/s – metros por segundo

MARPOL - Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição Causada por Navios

mn – milhas náuticas

NFD - naftalenos, fenantrenos e dibenzotiofenos

OCMI - Convenção da Organização Intergovernamental Consultiva da Navegação Marítima

OILPOL 1954 - Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição dos Mares por Óleo

OPRC/1990 - Convenção Internacional sobre Mobilização de Recursos, Resposta e Cooperação contra Poluição por Óleo

OSRV - Oil Recovery Response Vessel

PNC - Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional

ppm - partes por milhão

ROC - *Receiver Operating Characteristic Curve*

SAR - *Synthetic Aperture Rada*

SLAR - *Side Looking Airborne Radar*

TOG - Teor de óleos e graxas

UTM - *Universal Transverse Mercator*

APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP NA PRIORIZAÇÃO DE ENVIO DE RECURSOS PARA PESQUISA DE ALVOS SUSPEITOS DE CONTER MATERIAL PETROGÊNICO NA SUPERFÍCIE DO MAR

RESUMO

A aplicação de metodologias para auxílio a tomada de decisão tem abrangência sobre diversas áreas, incluindo a ambiental. O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), cujo processo envolve as áreas de matemática e psicologia, permite que decisores tenham maior clareza em seus processos de julgamento e que suas opções de escolha sejam baseadas nas preferências de seus critérios de seleção. É desejável que atividade de selecionar critérios seja baseada no conhecimento prévio dos decisores sobre quais parâmetros são relevantes para seus julgamentos. Contudo, avalições estatísticas são úteis e requeridas para maior embasamento e definições de importância.

De posse de informações sobre alvos/feições identificadas por satélites com radar de abertura sintética coletadas durante o período de doze meses, que foram classificadas em conter ou não conter material petrogênico, foi analisada uma seleção de parâmetros sobre as ocorrências, e o resultado utilizado para auxiliar no delineamento da aplicação do método AHP.

Os resultados obtidos por este estudo demostram que a utilização desta metodologia em específico, quando aplicada com os critérios avaliados, tem a capacidade de priorizar alvos/feições com material de origem petrogênica. Com isso, sua prática terá efeito no emprego do direcionamento de recursos para minimização de possíveis impactos ambientais negativos, proporcionados pela presença deste tipo de material na superfície do mar.

Palavras-chave: AHP. Óleo. SAR.

APPLICATION OF THE AHP METHOD IN THE PRIORITIZATION OF SUBMISSION OF RESOURCES TO RESEARCH TARGETS SUSPECTED OF CONTAINING PETROGENCIUM MATERIAL ON THE SEA SURFACE

ABSTRACT

The application of methodologies to aid decision making covers several areas, including the environment. The AHP (Analytic Hierarchy Process) method, whose process involves the areas of mathematics and psychology, allows decision makers to have greater clarity in their judgment processes and that their choice options are based on the preferences of their selection criteria.

It is desirable that the activity of selecting criteria is based on the decision makers' prior knowledge of which parameters are relevant to their judgments. However, statistical evaluations are useful and required for further support and definitions of importance.

With information on targets/features identified by satellites with synthetic aperture radar collected during the twelve-month period, which were classified as containing or not containing petrogenic material, a selection of parameters on the occurrences was analyzed, and the result used for assist in the design of the application of the AHP method.

The results obtained by this study demonstrate that the use of this specific methodology, when applied with the evaluated criteria, has the ability to prioritize targets/features with material of petrogenic origin. Thus, its practice will have an effect on the use of directing resources to minimize possible negative environmental impacts, provided by the presence of this type of material on the sea surface.

Keywords: AHP. Oil. SAR.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS vii
LISTA DE TABELAS viii
LISTA DE QUADROS ix
LISTA DE ABREVITURAS E SIGLAS ix
RESUMO x
ABSTRACT xi
APRESENTAÇÃO 1
ARTIGO CIENTÍFICO 1: MECANISMOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE FEIÇÕES SUSPEITAS PROVENIENTES DE ATIVIDADE PETROLÍFERA NA ÁREA DA BACIA DE CAMPOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO 3
1. INTRODUÇÃO 4
2. REVISÃO DA LITERATURA 5
3. CONCLUSÃO 11
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 11
ARTIGO CIENTÍFICO 2: AVALIAÇÃO DA INTENSIDADE DO VENTO E SUA PARTICIPAÇÃO NA IDENTIFICAÇÃO DE ALVOS SUSPEITO DE PRESENÇA DE ÓLEO ATRAVÉS DE IMAGENS SATELITAIS ADQUIRIDAS POR RADARES DE ABERTURA SINTÉTICA 14
1. INTRODUÇÃO 15
2. REVISÃO DA LITERATURA 16
3. MATERIAIS E MÉTODO 17
3.1. Material 17
3.2. Método 18
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 20
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 27
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 28
ARTIGO CIENTÍFICO 3: APLICAÇÃO DO PLANO NACIONAL DE CONTIGÊNCIA DURANTE A OCORRÊNCIAS DE MANCHAS DE PETRÓLEO NA COSTA BRASILEIRA 30
1. INTRODUÇÃO 31
2. REVISÃO DA LITERATURA 32
2.1. Legislações e convenções acerca da poluição marítima 33
2.2. Plano Nacional de Contingência e suas definições 41

3. MATERIAIS E MÉTODO 42
3.1. Materiais 43
3.2. Método 43
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 43
5. CONCLUSÃO 45
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 46
ARTIGO CIENTÍFICO 4: APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP NA PRIORIZAÇÃO DE ENVIO DE RECURSOS PARA PESQUISA DE ALVOS SUSPEITOS DE CONTER MATERIAL PETROGÊNICO NA SUPERFÍCIE DO MAR 50
1. INTRODUÇÃO 51
2. REVISÃO DA LITERATURA 53
2.1. Método AHP – Analytic Hierarchy Process – e suas aplicações 53
3. MATERIAIS E MÉTODO 57
3.1. Materiais 57
3.2. Método 58
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 60
4.1. Análise estatística descritiva 60
4.2. Regressão Logística Binária 70
4.2.1. Avaliação do modelo 2 – repostas até 6h 74
4.2.2. Avaliação do modelo 2 – repostas de 6h a 8h 78
4.2.3. Avaliação do modelo 2 – repostas acima de 8h 82
4.3. Aplicação da metodologia AHP para tomada de decisão 85
4.3.1. Avaliação da metodologia AHP para tomada de decisão 91
4.3.2. Análise de sensibilidade dos critérios Forma e Tempo 94
5. CONCLUSÃO 95
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 98
CONCLUSÃO 101

APRESENTAÇÃO

Com diversas tecnologias para a identificação de feições/alvos que possam conter substâncias de origem petrogênica na superfície do mar, suas utilizações para o monitoramento de possíveis vazamentos ou descargas ilegais se tornaram uma importante ferramenta para uso rotineiro de observação destes ambientes.

Uma destas tecnologias, onde satélites são equipados por estes instrumentos, é denominada de radares de abertura sintética (SAR - *Synthetic Aperture Radar*). Umas de suas características são capturar extensas área de cobertura e ter a capacidade de executar a identificação de possíveis feições/alvos suspeitos, quando não ocorre o retorno do sinal emitido pelo equipamento.

De posse de registros de interpretações de imagens orbitais e de buscas realizadas por recursos (embarcações e/ou aeronaves) nos prováveis locais onde haveria a feição/alvo foi viável a análise estatística destas informações com o intuito de se entender a dinâmica das variáveis coletadas durante a interpretação das imagens orbitais e as respostas as buscas. Com isso, pode-se considerar um mecanismo que, através desta avaliação inicial, propusesse ao decisor – responsável pelo envio de recursos – quais feições/alvos fossem priorizadas em detrimento a outras, para uma identificação positiva de material petrogênico.

A escolha do método *Analytic Hierarchy Process* – AHP – tornou-se interessante e apresentou bons resultados finais. Este método não subtrai a subjetividade da escolha de feições/alvos prioritários, porém elege, por meio de critérios selecionados pelo próprio decisor, quais são aquelas que se deve direcionar o recurso inicialmente, isto é, na ordem de importância atribuída aos critérios estabelecidos pelo próprio decisor.

O primeiro artigo "Mecanismos para identificação de feições suspeitas provenientes de atividade petrolífera na área da bacia de Campos no Estado do Rio de Janeiro" publicado no Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, v. 14 n. 1 (2020), em 14 de junho de 2020, resume as tecnologias utilizadas para identificação de feições com suspeita de material petrogênico no mar e sobre a utilização de análise multicritério e, em conjunto com o segundo artigo "Avaliação da intensidade do vento e sua participação na identificação de alvos suspeito de presença de óleo através de imagens satelitais adquiridas por radares de abertura sintética", submetido a revista Mundi, em julho de 2020, que detalha a influência da variável "vento" sobre as feições/alvos identificados, complementam o entendimento da temática de identificação de feições/alvos sobre a superfície do mar e as interações destas substâncias com o meio e delimitam a área de estudo. Devido a diversas legislações ambientais nacionais e internacionais um terceiro artigo, dedicado a este tema e a crítica a

aplicação do Plano Nacional de Contingência, durante o acidente ambiental ocorrido na costa brasileira, onde petróleo emulsificado foi identificado em diversas localidades por período de meses em 2019, foi submetido a revista Desenvolvimento e Meio Ambiente, em julho de 2020. Estes três artigos introduzem conceitos e análises já realizadas pela autora sobre o tema. O quarto artigo "Aplicação do método AHP na priorização de envio de recursos para pesquisa de alvos suspeitos de conter material petrogênico na superfície do mar" aborda a aplicação prática da utilização do método AHP para o envio de recursos baseado em análise estatística para estabelecimento de pesos aos critérios que nortearão esta decisão.

ARTIGO CIENTÍFICO 1

MECANISMOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE FEIÇÕES SUSPEITAS PROVENIENTES DE ATIVIDADE PETROLÍFERA NA ÁREA DA BACIA DE CAMPOS NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

MECHANISMS FOR IDENTIFYING SUSPECTED SLICKS FROM OIL CAMP BASIN IN THE STATE OF RIO DE JANEIRO

Juliana Fernandes Moreira - IFFluminense/PPEA
Marcos Antônio Cruz Moreira - IFFluminense/PPEA
Augusto Eduardo Miranda Pinto - IFFluminense/PPEA

RESUMO

O presente artigo pretende demostrar ao leitor a importância da utilização de tecnologias para identificação e tomada de decisões durante a ocorrência de um derrame acidental ou por descontrole operacional provenientes de atividades petrolíferas. Para tal processo é necessário se conhecer de forma integral ou mesmo possuir uma estimativa de quais fatores ambientais influenciam a trajetória e intemperização do óleo, já que o ambiente oceânico é dinâmico. Em locais cuja atividade petrolífera é executada intensamente é requerido que ações mais rotineiras e assertivas sejam implementadas. A área de exploração e produção de petróleo da bacia de Campos, no Estado do Rio de Janeiro, é uma delas. Isto devido a sua grande população de unidades de exploração e produção, bem como o trânsito de embarcações de apoio a esta atividade. Somado a estes fatores, a costa do Estado do Rio de Janeiro possui importância turística e de pesca. Com este cenário, faz-se necessária constante vigilância. A análise de imagens orbitais com a tecnologia SAR – radar de abertura sintética – para identificações de feições, que podem conter substâncias oleosas, contribuem para um monitoramento efetivo e são capazes de promover uma melhor utilização de recursos quando assimiladas com outras ferramentas de monitoramento ou combate a poluição por óleo.

Palavras Chave: Bacia de Campos. Óleo. SAR.

ABSTRACT

This article intends to demonstrate to the reader the importance of the use of technologies for identification and decision making during the occurrence of an accidental spill or for operational lack of control from petroleum activities. For such a process it is necessary to fully know or even have an estimate of which environmental factors influence the trajectory and weathering of the oil, since the oceanic environment is dynamic. In locations where oil activity is intensely performed, more routine and assertive actions are required to be implemented. The oil exploration and production area of the Campos Basin in the state of Rio de Janeiro is one of them. This is due to its large population of exploration and production units, as well as the transit of vessels supporting this activity. Added to these factors, the coast of Rio de Janeiro State has tourist and fishing importance. With this scenario, constant vigilance is required. Orbital image analysis with SAR - synthetic aperture radar technology - for feature identifications that may contain oily substances, contribute to effective monitoring and are able to promote better resource utilization when assimilated with other monitoring or combat tools oil pollution..

Keywords: Campos basin. Oil. SAR.

1. INTRODUÇÃO

A exploração e produção de petróleo na costa do Estado do Rio de Janeiro ocorre desde meados da década de 1970 e se intensificou com a descoberta de campos considerados com maior potencial comercial, campos gigantes, em 1984 (PETROBRAS. Página institucional. Disponível em: http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/bacias/bacia-de-campos.htm, acesso em 21/6/2019 às 10h40). A chegada dos benefícios oriundos da atividade petrolífera também é acompanhada de seus impactos negativos provenientes desta exploração e produção.

Com o incremento destas operações, o impacto ambiental negativo mais comumente identificado é o que traz referência ao vazamento de óleo no mar, sendo proveniente destas atividades (exploração, produção, escoamento e transporte de petróleo cru ou previamente processado). Estes vazamentos podem ocorrer devido ao vazamento do óleo diretamente de uma unidade marítima (furo no casco, falha na transferência de óleo de uma embarcação a outra, desenquadramento no teor de óleos e graxas – TOG), ou indiretamente, através de lançamento de substâncias oleosas provenientes de lavagens de tanques de embarcações que transitam e realizam apoio as unidades exploradoras e/ou produtoras, rompimento de dutos ou danos a equipamentos submarinos.

Para identificação destes vazamentos e/ou alvos suspeitos de substâncias oleosas, uma das estratégias utilizadas por toda a indústria petrolífera, como também as entidades governamentais responsáveis pela fiscalização de poluição por descargas ilegais nos países é a aquisição e interpretação de

imagens orbitais. No caso brasileiro, especificadamente na bacia de Campos, são aquisitadas e interpretadas imagens satelitais, duas vezes ao dia, desde julho de 2018, para registro de possíveis vazamentos, descontroles operacionais e/ou pesquisa/ busca por alvo que tenham características de substância oleosa na superfície do mar.

De posse desta interpretação são requisitadas embarcações (integrantes dos Planos de Emergência de Vazamento de Óleo da Área Geográfica da Bacia de Campos) para averiguações destes alvos. Contudo, não há hoje uma definição por parte do órgão ambiental fiscalizador ou mesmo divulgada na indústria do petróleo sobre quais são os parâmetros para priorização destas buscas, tempo máximo de atendimento para averiguação com eficiência, tipos de alvos que devem ser priorizados em detrimento a outros, diretrizes governamentais sobre quais recursos devem ser adotados, ou seja, ocorre apenas a identificação de um possível alvo, presente dentro da área geográfica em estudo, delimitada para atuação do Plano de Emergência, e é enviado o(s) recurso(s) conforme a experiência do profissional que recebe a informação sobre o resultado da interpretação e a disponibilidade deste recurso.

Vale ressaltar que as interpretações efetuadas no período de tempo imediatamente relatado acima (desde julho de 2018) foram executadas por profissionais e não ocorreu utilização de nenhum tipo de algoritmo de interpretação. As feições identificadas abrangiam qualquer possibilidade de alvo contendo substância oleosa, não sendo estipulado parâmetro como tamanho, geometria da forma, contraste, etc para exclusão de alvos, exceto aqueles que eram nitidamente alvos meteoceanográficos, como, por exemplo, células de chuva.

O presente artigo busca demostrar uma parcela de ferramentas e informações disponível para a indústria do petróleo a fim de contribuir para a mitigação dos impactos negativos causados por derramamentos de hidrocarbonetos de petróleo, sejam provenientes de acidentes ou por descontroles operacionais e propor, como pesquisa futura, a análise e utilização destes dados disponíveis para melhor execução de medidas de controle e mitigação de efeitos adversos da presença de óleo no mar.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A crescente preocupação da sociedade perante os acidentes ocorridos com petróleo e seus derivados levam as empresas a buscar formas mais eficientes de monitorar possíveis vazamentos e com isso atuar de maneira mais eficaz em casos de acidentes (BENTZ, 2006).

Segundo ALPERS *et al.* (2017) a maior parte da poluição por óleo encontrada nos mares/oceanos não são proveniente de grandes acidentes com navios ou plataformas de petróleo, mas sim de

suas rotinas operacionais, como a lavagem de tanques – que ainda apresentam resíduos ou carga de petróleo.

Em 1973, a MARPOL - Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios, em que o Brasil é signatário, e seus anexos, cujo objetivo é o estabelecimento de regras para a completa eliminação da poluição intencional do meio ambiente por óleo e outras substâncias danosas oriundas de navios, bem como a minimização da descarga acidental daquelas substâncias no ar e no meio ambiente marinho, estabeleceu um importante marco no controle do alijamento de substâncias e resíduos nos oceanos (Marinha do Brasil. Página institucional. Disponível em: https://www.ccaimo.mar.mil.br/marpol, acesso em 28/11/2019 às 23h37).

O Brasil além de signatário da MARPOL, publicou a Lei 9.966, em 28 de abril de 2000, que dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e outras providências, o que ampliou a defesa das águas jurisdicionais brasileiras, definindo ações para dos sistemas de prevenção, controle e combate da poluição, o transporte de óleo e substâncias nocivas ou perigosas, as infrações e sanções aplicáveis àqueles que desrespeitarem o cumprimento desta legislação (Presidência da República. Página institucional. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9966.htm, acesso em 28/11/2019 às 23h45).

Também, no ano de 2008, o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, publicou uma resolução, a RESOLUÇÃO CONAMA número 398 de 11 de junho de 2008, que estabelecia o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional, originados em portos organizados, instalações portuárias, terminais, dutos, sondas terrestres, plataformas e suas instalações de apoio, refinarias, estaleiros, marinas, clubes náuticos e instalações similares, e orienta a sua elaboração. Esta resolução dava as orientações sobre os critérios para o dimensionamento da capacidade mínima de resposta e o estabelecimento do CEDRO (Capacidade Efetiva Diária de Recolhimento de Óleo), como também dividiu as descargas em pequenas ($8m^3$), médias (até $200m^3$) e de pior caso – definido pela Resolução para diferentes cenários (Ministério do Meio Ambiente. Página institucional. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=575, acesso em 28/11/2019 às 23h55).

A literatura que aborda o tema de combate à poluição da indústria do petróleo no mar permeia sobre várias áreas, sendo amplamente utilizado o sensoriamento remoto por radares que operam na faixa das micro-ondas. Contudo, apenas a interpretação do alvo como provável substância oleosa não é suficiente diante a necessidade de selecionar e priorizar os recursos que atuarão em uma resposta ao combate à poluição. Existem inúmeras outras tecnologias aplicáveis para a detecção de substâncias

petrogênicas nos oceanos, que podem ser inseridas em aeronaves de asa fixa ou móvel (aeronaves ou helicópteros) ou mesmo em embarcações.

Diversos trabalhos que retratam o uso de tecnologia SAR (Radar de Abertura Sintética), em satélites, estão disponíveis nas bases de dados, com grande parte utilizando-se da elaboração de algoritmos para identificação de feições/alvos que indiquem a presença de óleo com maior acurácia e rapidez, em comparação a uma avaliação humana - intérprete. O estudo efetuado para esta pesquisa não é a utilização desta forma de identificação. Porém, trabalhos que relacionem a identificação de feições/alvos através de SAR e mencionem os atributos para sua identificação, como por exemplo, a análise dos valores de velocidade de vento e suas faixas ideias para detecção são relevantes para um bom entendimento sobre como o meio marinho e atmosférico influenciam nos processos de intemperismo do óleo e seu deslocamento ao longo do tempo são de interesse de análise.

São conhecidos os impactos causados por derramamentos de petróleo tanto no que tange a área biológica quanto a área econômica. Neste sentido a utilização de imageamento por SAR tem se tornado uma importante ferramenta na identificação de possíveis acidentes envolvendo petróleo e derivados e isto não se limita apenas a capacidade de cobrir extensas áreas, mas também por capacidade de obter imagens em condições noturnas, penetrar por nuvens e ser menos restritivo com condições meteorológicas (FANG *et al.* 2015).

A obtenção por imageamento através de micro-ondas também pode ocorrer com a utilização de aeronaves, o SLAR (*Side Looking Airborne Radar*), cuja tradução para língua portuguesa seria radar de visada lateral. O funcionamento do equipamento é similar a sua utilização em satélites, porém ele é instalado em aeronaves. Isto é efetuado através de equipamentos eletrônicos que conseguem sintetizar a utilização de antenas. Contudo, devido a instalação em uma aeronave, a área de imageamento se torna menor em comparação com a área obtida por imagens orbitais (FINGAS e BROWN, 1997).

No Brasil, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, desde o final do ano de 2018, possui a sua disposição, por um período de horas mensais, uma aeronave que dispõe deste equipamento não apenas para identificação de feições oleosas na superfície do mar, como também outras aplicações de interesse aos trabalhos executados por esta autarquia.

A utilização de imagens orbitais adquiridas por uso de tecnologia SAR tem se demostrado com resultados melhores, para a identificação de óleo com a utilização da banda-X, em comparação as bandas L e C. Também é reconhecido que coeficiente de retroespalhamento diminui ao passo que o ângulo de incidência aumenta. A configuração indicada para identificações de feições oleosa seria entre os ângulos de 20 a 45 (BREKKE e SOLBERG, 2004). O vento é um dos vetores que interfere na identificação de feições obtidas por imagens SAR. Quando este apresenta uma intensidade relativa-

mente baixa, até 3m/s, não é possível distinguir feições do entorno. Entre 3 – 10m/s é possível identificar feições, mas ainda com a possibilidade de falsos positivos. De 7 – 10m/s apenas óleo mais espesso é identificado. O óleo de espessura mais fina é disperso com o vento. Acima de 10m/s as visualizações indicam a presença de óleo, pois o vento não foi suficiente para quebrar este amortecimento das ondas de Braag que o óleo produz (BREKKE e SOLBERG, 2004).

Para FINGAS e BROWN (1997) o vento é capaz de causar interferências na identificação destes falsos-positivos ou mesmo não permitir a identificação de feições com espessuras mais finas. O valor mínimo para detecção de possíveis feições na superfície do mar seria de 1,5m/s e o valor máximo de 6m/s, pois este já é capaz de dispersar óleo e não permitir um retroespalhamento suficiente para definir zonas com concentração de óleo ou não.

Conforme descrito por FERRARO *et al*. (2007) a velocidade mínima de vento para identificação por imagens de satélite (SAR – radares de abertura sintética) estão atreladas ao ângulo de incidência de captura da imagem. Uma variação de range de ângulo de incidência entre 20° e 50°, com a frequência na banda C, o mínimo valor de vento capaz de se identificar óleo na superfície do oceano seria entre 2-3m/s, pois gera um espelhamento/ alisamento do óleo em relação ao entorno da feição, o que permite a distinção de retroespalhamento adquirido na imagem.

Conhecer os valores medidos de vento em determinadas áreas pode ser inviável durante a ocorrência de uma emergência. Por este motivo, em áreas passiveis de derramamentos de óleo, seja por atividade exploradora e produtora de petróleo, ou mesmo por se tratar de rota de tráfego de navios, é relevante o conhecimento do sistema circulatório de vento em diversos períodos do ano, a fim de se identificar épocas onde a possibilidade de detecção de feições oleosas, com a aquisição de imagens orbitais com tecnologia SAR, seja mais viável ou não e com isso planejar a utilização de outras ferramentas para o combate a poluição por óleo.

Outra forma de identificação de feições é através de uso de sensores óticos. Caso o período de aquisição de uma nova imagem em uma área de interesse – devido a presença de uma feição suspeita de origem petrogênica – a utilização de imagens óticas poderá auxiliar a identificação da deriva da feição, o que auxilia no processo de monitoramento e combate a derrames de óleo. Contudo, não é viável apenas se utilizar de imagens óticas, obtidas por imagens de satélite, pois as mesmas registram a superfície da Terra como ele é, ou seja, caso a área de interesse esteja encoberta por nuvens, apenas estas últimas serão imageadas, enquanto a superfície do oceano ficará oculta por esta camada. Também é relatada a dificuldade com a distinção entre falsos-positivos, já que o reflexo da iluminação solar na superfície da água do mar ou mesmo áreas com baixa intensidade de vento podem provocar estas identificações errôneas (FINGAS e BROWN, 1997). Porém, em situações onde o óleo no mar encontra-se não na superfície, mas na camada imediatamente abaixo da mesma, por vezes sendo identificado

em imagens SAR outras não – já que não é capaz de provocar o alisamento da superfície do mar – a utilização de imagens óticas poderá ser uma das soluções de identificação de presença de óleo no mar e orientar possíveis sobrevoos para averiguação da trajetória da feição.

Para CARPENTER (2018), feições com valores acima de 15ppm (partes por milhão) são passíveis de serem visualizá-las, ou seja, em uma possível descarga, legal ou não, uma embarcação ou instalação marítima ao lançar seus efluentes, que contém presença de óleo a partir de 15ppm, é passível de deixar visível a um observador uma área cuja superfície se torna mais espelhada, menos rugosa – atenuação das ondas de Bragg.

A utilização de simulações de deriva de óleo é uma importante ferramenta para o combate a poluição causada por este agente. Simulações de deriva nada mais são do que modelos matemáticos que tentam retratar a realidade de uma determinada localidade estabelecida pelo operador. Segundo XU *et al.* (2013), o monitoramento do óleo é uma das ferramentas mais importantes durante a ocorrência de acidentes e é um produto originado da oceanografia operacional. Estas simulações são importantes como previsão da trajetória do óleo e quais comunidades (como colônias de pescadores, por exemplo) ou áreas de preservação marinha ou turística poderão ser atingidas, o que permite antever ações de monitoramento ambiental da área (para se conhecer o *background* do ambiente pré-trajetória do óleo), como também identificar quais são os reais atingidos pelos danos ambientais e realizar a contabilização e ressarcimento correto do dano.

A utilização de *softwares* de simulação de deriva de óleo está fortemente atrelada as informações que serão imputadas para que o modelo gere os resultados, como também a identificação de um modelo que retrate as condições ambientais daquele espaço-tempo. A conhecimento de informações meteo-oceanográficas com a coleta de dados em campo (valores de intensidade de vento e corrente), o °API do óleo e ponto de origem e horário do vazamento, bem como se este é superficial ou no leito marinho ou a determinada profundidade – proveniente de algum equipamento ou recurso de elevação e escoamento do petróleo – são informações que contribuem para uma maior acurácia das respostas e trajetórias prováveis do óleo.

É imperativo identificar quais informações serão as de maior expressão para se chegar a um resultado que garanta uma assertividade cada vez melhor.

Devido a rotina de aquisição de inúmeras imagens (aquisição diária, usualmente diurna e noturna) é possível se estruturar para combater possíveis impactos negativos provenientes destes vazamentos e se planejar de maneira mais eficiente e planejada em relação ao seu monitoramento e identificação de sua deriva (FINGAS e BROWN, 1997).

Segundo BENTZ (2006) as classificações de imagens de satélite podem resultar em vazamentos operacionais, descartes de navios e os eventos de origem não identificada – para fenômenos que

sugerem origem petrogênica. Já aqueles que resultam em resultados similares, mas que ao serem analisados, junto a outros parâmetros, como clorofila, por exemplo, indicam a existência de fenômenos meteoceanográficos.

Alguns trabalhos de pesquisadores que trabalham diretamente com imageamento e interpretação foram analisados. A geofísica Cristina Maria Bentz, profissional que atua pela Petróleo Brasileiro S.A. com sua tese de doutorado intitulada "Reconhecimento automático de eventos ambientais costeiros e oceânicos em imagens de radares orbitais", ano de obtenção: 2006; Luciana de Souza Soler, com sua dissertação de mestrado intitulada "Detecção de Manchas de Óleo na Superfície do Mar por Meio de Técnicas de Classificação Textural de Imagens de Radar de Abertura Sintética (RADARSAT-1)", ano de Obtenção: 2000; Corina da Costa Freitas e João Antônio Lorenzzetti, estes últimos pesquisadores do INPE, participantes da elaboração de trabalhos relativos a sensoriamento remoto.

Ao interpretar uma imagem orbital ou mesmo identificar vários pontos com possibilidade de presença de óleo, um decisor – pessoa que deverá assumir a definição de frentes de trabalho e/ou recursos para minimizar impactos causados por vazamentos ou descargas ilegais de petróleo deverá possuir um conjunto de parâmetros e dados que subsidiem sua tomada de decisão no que tange a escolha e envio de recursos para identificação e, em caso positivo para identificação de presença de substância oleosa no mar, minimização de impacto deste agente.

A elaboração de matrizes e a escolha de metodologia para sua aplicação baseiam-se na análise multicritério de decisão. A utilização destas metodologias tem se demostrado amplamente aplicável a diversas situações onde múltiplas decisões precisam ser tomadas, onde há possibilidade de conflitos entre as possíveis respostas a serem adotadas e um decisor é incumbido de realizar esta tarefa. Isto requer uma definição clara do problema, a metodologia a ser seguida e o conhecimento pretérito das diferenças entre os métodos.

HODGETT *et al*. (2017) sugerem a utilização do software livre R estatístico para auxílio a esta tomada de decisão. A menção a este programa é devido a grande quantidade de usuários e aos diferentes pacotes que contemplam a ajuda a decisão com a análise multicritério. É explicitado que as decisões nem sempre serão aquelas com a resposta ideal para determinado problema, mas sim aquela que se adequa e contempla os critérios selecionados pelo decisor para responder determinada questão.

Para demostrar a versatilidade e aplicabilidade da análise multicritério, o autor acima mencionado submete a decisão baseada em múltiplos critérios, a compra de um carro. O problema é identificado e formulado, construído um modelo para sua solução e emitida a recomendação final para compra.

Autores brasileiros como Luiz Flávio Autran Monteiro Gomes e Carlos Francisco Simões Gomes surgem como referências a este assunto, sendo o livro de autoria de ambos intitulado "Princípios

e Métodos para Tomada de Decisão Enfoque Multicritério", publicado em 2019 pela editora Atlas, uma das fontes de pesquisa, devido a apresentação de vários métodos para a análise e decisão. Thomas Saaty, criador do método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) e suas publicações são fonte para a elaboração de matriz auxiliar a decisão sobre a utilização de recursos para combate a poluição. Até o presente momento, ainda não foi identificada em outros trabalhos acadêmicos para priorização ou seleção de buscas a possíveis feições, otimizando os recursos empregados para tal.

3. CONCLUSÃO

A exploração e produção de petróleo como recurso para obtenção de energia é uma atividade presente em diversas partes do mundo e importante para diversas economias, sendo a base energética de diversos países. O Brasil possui na costa do Estado do Rio de Janeiro, a área da bacia de Campos, cuja atividade contribui com elevada parcela da receita financeira deste Estado, devido a distribuição de *royalties*.

Hoje estão disponíveis para contratação diversos mecanismos para monitoramento e/ou atuação em casos de incidentes com óleo, conforme demostrado neste trabalho. Estas são ferramentas importantes e de elevada aplicação na indústria do petróleo, seja de forma proativa ou mesmo por demanda de órgãos ambientais.

Devido a sua existência (produção e exploração), a extensão, importância econômica e sua ampla faixa de áreas com probabilidade de serem impactadas, seja por atividade rotineira ou por acidentes de petróleo, há o monitoramento com constância diária através da aquisição de imagens orbitais por radares de abertura sintética – SAR – nesta área. Isto gera um volume de informações relevantes e caracteriza a área imageada sob diversos aspectos.

A autora propões a utilização das interpretações destas imagens e dos resultados das averiguações realizadas pelos recursos enviados para identificação de possíveis feições oleosas – indicadas na interpretação das imagens – para criação de um banco de dados, cujas análises poderão auxiliar no processo decisório futuro. Isto também poderá subsidiar a tomada de decisão sobre a priorização no envio de recursos (aeronaves e/ou embarcações) através da elaboração de uma matriz, com metodologia de análise multicritério, para auxílio nestas decisões, o que permite a figura do "decisor" uma melhor abordagem e utilização de recursos, garantindo que a alocação destes auxilie na minimização de impactos ambientais provocados por vazamentos e/ou descontroles operacionais.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALPERS, W.; HOLT, B.; ZENG, K. Oil spill detection by imaging radars: Challenges and pitfalls. **Remote Sensing of Enviroment** 201, p. 133-147, 2017.

BENTZ, M.C. **Reconhecimento automático de eventos ambientais costeiros e oceânicos em imagens de radares orbitais**. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE. Rio de Janeiro, 2006.

BRASIL. Lei 9.966, de 28 de abril de 2000. Institui a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: edição extra, Brasília, DF, ano 2000, p. 1, 29 abr. 2000. PL 2891/1992.

BRASIL. RESOLUÇÃO CONAMA número 398 de 11 de junho de 2008. Dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional, originados em portos organizados, instalações portuárias, terminais, dutos, sondas terrestres, plataformas e suas instalações de apoio, refinarias, estaleiros, marinas, clubes náuticos e instalações similares, e orienta a sua elaboração. **Diário Oficial da União**: 111, Brasília, DF, ano 2008, Seção 1, páginas 101-104, 12 jun. 2008.

CARPENTER, A. Oil Pollution in the North Sea: The Impact of Governance Measures on Oil Pollution over Several Decades. **Hydrobiologia**, V. 845, p 109-127, 2019.

FANG, J. et al. Oil Spill Monitoring based on SAR Remote Sensing Imagery. **Aquatic Procedia**, p. 112-118, 2015.

FERRARO, G. *et al*. Towards na Operacional Use of Space Imagery for Oil Pollution Monitoring in the Mediterranean basin: A Demostration in the Adriatic Sea. **Marine Pollution Bulletin**, Vol. 54, p. 403-422, 2007.

FINGAS, M.; BROWN, C.E. Review of Oil Spill Remote Sensing. **Spill Science & Technology Bulletin**, Vol. 4, p. 199-208, 1997.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. **Princípios e Métodos para Tomada de Decisão Enfoque Multicritério**. 1ª edição. São Paulo: Atlas. 2019.

HODGETT, B. *et al*. Supporting the Multi-Criteria Decision Aiding Process: R and MCDA package. **EURO Journal on Decisio Processes**, p. 169-194, 2017.

Marinha do Brasil. **Página institucional**. Disponível em: https://www.ccaimo.mar.mil.br/marpol, acesso em 28/11/2019 às 23h37.

Marins, C.S.; Souza, D.O.; Barros, M.S. **O Uso do Método de Análise Hierárquica (AHP) na Tomada de Decisões Gerenciais – Um Estudo de Caso**. XLI SBPO Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento. 2009.

PETROBRAS. **Página institucional**. Disponível em: http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/bacias/bacia-de-campos.htm, acesso em 21/6/2019 às 10h40.

SOLER, L.S. **Detecção de Manchas de Óleo na Superfície do Mar por Meio de Técnicas de Classificação Textural de Imagens de Radar de Abertura Sintética (RADARSAT-1)**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE. 2000.

XU, Q. *et al*. Satellite Observations and Modeling of Oil Spill TRajectories in the Bohai Sea. **Marine Pollution Bulletin**, Vol. 71, p. 107-116, 2013.

ARTIGO CIENTÍFICO 2

AVALIAÇÃO DA INTENSIDADE DO VENTO E SUA PARTICIPAÇÃO NA IDENTIFICAÇÃO DE ALVOS SUSPEITO DE PRESENÇA DE ÓLEO ATRAVÉS DE IMAGENS SATELITAIS ADQUIRIDAS POR RADARES DE ABERTURA SINTÉTICA

EVALUATION OF THE WIND INTENSITY AND ITS PARTICIPATION IN THE IDENTIFICATION OF TARGETS SUSPECTED OF OIL PRESENCE IDENTIFIED BY SATELLITE IMAGES ACQUIRED BY SYNTHETIC APERTURE RADARS

Juliana Fernandes Moreira - IFFluminense/PPEA

Marcos Antônio Cruz Moreira - IFFluminense/PPEA

Flávia Ribeiro Villela – UFRJ/Macaé

Augusto Eduardo Miranda Pinto - IFFluminense/PPEA

RESUMO

O presente artigo pretende demonstrar ao leitor a importância de se conhecer o parâmetro “vento” no sentido de sua intensidade para entender sua influência ou não em alvos suspeitos de presença de óleo na superfície do mar. A área abordada para estudo foi paralela à costa do Estado do Rio de Janeiro, onde ainda ocorre intensa exploração petrolífera e, por tanto, maior possibilidade de identificação de feições suspeitas de óleo. A utilização da tecnologia SAR – radar de abertura sintética – contribui consideravelmente para a coleta de dados, pois não possui interferência de cobertura de nuvens ou necessidade de insolação, como ocorrem com sensores óticos. A presença de recursos – embarcações e aeronaves - dotadas de equipamentos para identificação de presença de óleo na superfície do mar colaboram para a identificação e ratificação ou não do alvo suspeito ser efetivamente uma feição oleosa. Este trabalho se baseou na observação das formas – morfologias – dos alvos suspeitos que posteriormente foram confirmados como possíveis feições oleosas. A inovação do trabalho refere a análise da participação do parâmetro vento na interferência das morfologias apresentadas pelas feições.

Palavras-chave: Óleo. SAR. Vento

ABSTRACT

Abstract: *This article intends to demonstrate to the reader the importance of knowing the "wind" parameter in the sense of its intensity to understand its influence or not on targets suspected of having oil on the sea surface. The area addressed for study was parallel to the coast of the State of Rio de Janeiro, where there is still intense oil exploration and, therefore, greater possibility of identifying suspicious oil features. The use of SAR technology - synthetic aperture radar - contributes substantially to data gathering, as it does not have interference from cloud cover or the need for sunlight, as occurs with optical sensors. The presence of resources - vessels and aircrafts- equipped with equipment to identify the presence of oil on the sea surface collaborates for the identification and ratification or not of the suspected target being effectively an oily feature. This work was based on the observation of the shapes - morphologies - of the suspicious targets that were later confirmed as possible oily features. The innovation of the work refers to the analysis of the participation of the wind parameter in the interference of the morphologies presented by the features.*
Keywords*: Oi spill. SAR. Wind.*

1. INTRODUÇÃO

A necessidade crescente de recursos energéticos para a população mundial faz com que o homem busque alternativas para satisfazer esta necessidade. Fontes fósseis, como o petróleo, ainda são de grande relevância e permanentemente prospectados novos campos para sua extração e produção. Estas atividades – sejam direta ou indiretamente – estão ligadas há inúmeros acidentes ambientais com resultados de significativo impacto ambiental no ambiente marinho e muitas vezes de cunho social. Porém, a grande maioria das poluições ambientais deste ambiente não são originadas por grandes desastres, mas sim por rotinas operacionais executadas de maneira irregular (Alpers et al., 2017).

Uma forma de se monitorar as atividades correlacionadas à indústria do petróleo, como também o tráfego marítimo de suporte às operações deste ramo de atividade é através da utilização de imagens de satélite. Isto se dá devido à disponibilidade de fornecedores, boa resolução temporal, possibilidade de obtenção de imagens de vastas áreas, sem a interferência de nuvens ou necessidade de luz solar para fazê-lo, no caso de radares de abertura sintética.

Na primeira parte deste trabalho será apresentada a revisão bibliográfica do tema proposto, com a exposição de informações sobre o sensoriamento remoto e legislações que cercam a área de descarte de água produzida por unidades marítimas.

Em uma segunda parte, são esclarecidos os materiais e métodos aplicados no estudo, contemplando a delimitação da área e a importância de uma análise climatológica do parâmetro vento e sua relevância para a identificação de alvos de origem petrogênica.

No progresso do trabalho são expostos os resultados da pesquisa e exprimidos os entendimentos a cerca destes fatos, com suas devidas considerações por fim.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Desde meados da década de 70 é sabida a existência de petróleo no litoral do Estado do Rio de Janeiro. Inicialmente a exploração ocorreu na área mais próxima a costa, porém com os avanços tecnológicos e a descoberta de campos com maior potencial comercial, os chamados campos gigantes, a exploração e produção de petróleo foram avançando cada vez mais para águas mais afastadas, fora do talude continental (PETROBRAS. Página institucional. Disponível em: http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/bacias/bacia-de-campos.htm, acesso em 21/6/2019 às 10h40).

Os benefícios da exploração e produção de petróleo para a região Norte Fluminense foram notórios ao longo dos anos, sendo estes sentidos principalmente nas questões relacionadas a emprego e renda, mas também na criação de escolas técnicas para suprir estas demandas. Contudo, esta atividade econômica possui um enorme impacto ambiental direto, quando da ocorrência de incidentes relacionados a vazamentos de óleo. O petróleo possui componentes tóxicos para a fauna do meio aquático e ao longo da cadeia trófica. Seus componentes incluem compostos como benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX), naftalenos, fenantrenos e dibenzotiofenos (NFD), hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA) e fenóis. Os hidrocarbonetos são altamente insolúveis na água (Motta et al., 2013).

Por possuir estas características o constante monitoramento das atividades petrolíferas se faz necessário, principalmente para monitorar incidentes com óleo (Bentz, 2006). Para execução desta atividade a utilização de ferramentas como o sensoriamento remoto são de extrema importância. A utilização de sensores instalados em satélites com a tecnologia SAR - *Synthetic Aperture Radar* – ou em tradução para radar de abertura sintética, auxiliam na visualização de uma área de grandes proporções independentemente da cobertura de nuvens ou horário de aquisição, já que estas são algumas limitações provenientes de sensores óticos.

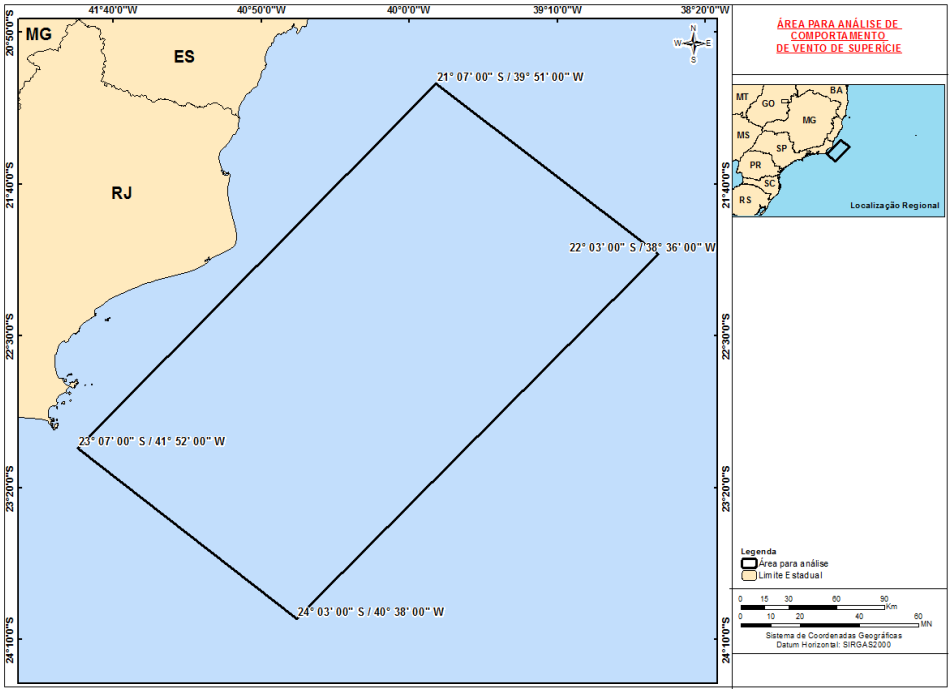
O especial funcionamento deste tipo de tecnologia e sua contribuição para a identificação de possíveis alvos como feições oleosas reside na capacidade do óleo promover um efeito de quebra nas ondas de Bragg, ondas capilares, não existindo o retorno do pulso emitido. Com isto é formada uma imagem que representa uma possível feição oleosa.

3. MATERIAIS E MÉTODO

3.1 Material

Como materiais para a pesquisa foram utilizados os resultados provenientes das interpretações de imagens orbitais da área paralela a costa do Estado do Rio de Janeiro e os resultados das buscas aos alvos identificados com resultado positivo, ou seja, ocorreu a identificação de substância capaz de alisar a superfície do mar. Esta área, identificada na figura 1 abaixo, permanece como importante área de exploração e produção de petróleo no país.

Figura 1 área de coleta de dados para analise, compreendendo dados de monitoramento orbital e resultados de buscas



Fonte: autores

O espaço amostral foi delimitado por 12 meses completos, que compreenderam os meses de julho de 2018 ao final de junho de 2019. Este espaço amostral foi definido por compreender a passagem pelas diferentes variações angulares de insolação recebida pela Terra.

Dentro deste espaço transcorreram aquisições e análises de imagens orbitais, com a classificação de suas morfologias. Os dados de vento foram obtidos de unidades marítimas próximas aos alvos/feições identificados. Os horários das coletas foram próximos àqueles de aquisição das imagens, a fim de se obter uma ideia mais fidedigna das condições ambientais durante a análise.

Com o auxílio dos resultados da interpretação das imagens adquiridas e as respostas positivas das buscas realizadas pelos recursos, bem como os valores coletados de intensidade de vento, nos horários próximos a aquisição das imagens, foram avaliados os possíveis impactos que o parâmetro "vento" possui nesta identificação de feições, especialmente no que se destaca a morfologia do alvo/feição capturada pelo sensor. Para esta pesquisa foram utilizados apenas os dados referentes as buscas que resultaram em respostas positivas, ou seja, aquelas nas quais foi identificada presença de alguma substância capaz de alisar a superfície do mar, que incluem desde algas a petróleo proveniente de unidades marítimas.

Os resultados das interpretações e os resultados das buscas foram tabelados. Criou-se desta forma, um banco de dados com informações úteis para levantamentos sobre quais aspectos são mais ou menos relevantes na identificação de feições de origem petrogênica.

Para os resultados positivos de alvos/feições de origem petrogênica ou capazes de alisar a superfície do mar foram estipuladas nomenclaturas para a morfologias que a figura poderia assumir.

Para as análises utilizou-se o *software* R estatístico.

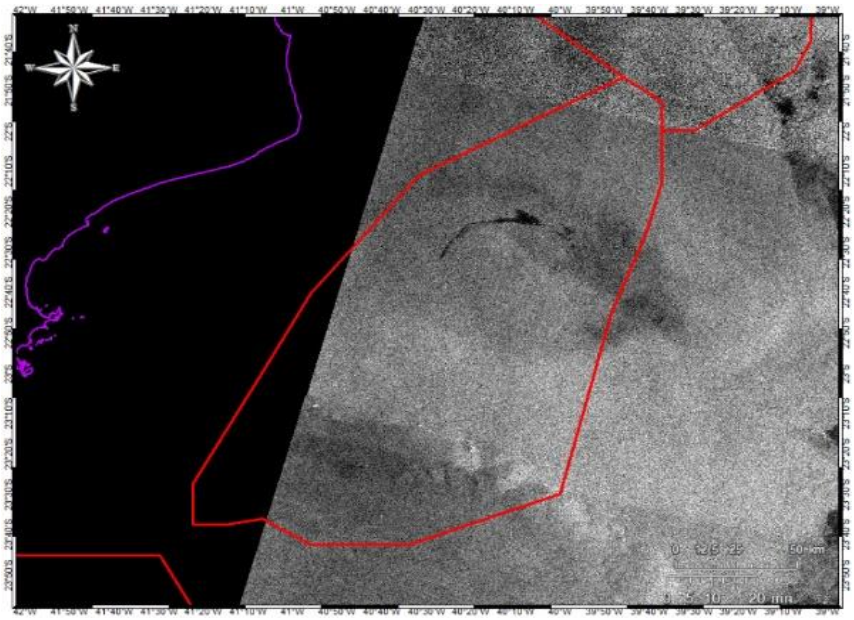
3.2 Método

O método aplicado para esta pesquisa foi o explicativo, pois busca esclarecer a relação entre o parâmetro medido "vento", através do valor de sua intensidade em m/s (metros por segundo) e as características observadas dos alvos durante o imageamento orbital. Serão utilizados procedimentos estatísticos para a análise dos dados, a fim de determinar se possuem interação e como esta ocorre.

Os resultados estatísticos contribuirão para as conclusões acerca da dinâmica da interação entre a técnica aplicada – sensoriamento remoto – e um dos fatores ambientais que proporcionam a dispersão de feições oleosas no ambiente marinho.

Para a classificação das "Formas" foram adotadas nomenclaturas conforme suas características (Bentz, 2006). Estas estavam relacionadas a descarte de unidade, descontroles operacionais, manchas órfãs, descargas de navios, vazamentos de unidades marítimas e algas. Abaixo, segue figura com características de forma classificada como "descontrole operacional".

Figura 2: imagem processada e obtida pelo satélite Sentinel-1A, abrangendo a área de interesse com feições com suspeita de óleo na superfície do mar.



Fonte: ESA - *European Space Agency, Copernicos programme* https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home, acesso em 20 nov. 2019

Para uma melhor compreensão da interação do parâmetro "vento" com as morfologias das formas identificadas pelos sensores imageadores foi executado um estudo climatológico, que compreendeu de janeiro de 1979 a dezembro de 2019.

Esta análise será para contribuir com o entendimento principalmente das diferenças de intensidade dos ventos no transcorrer do dia e se esta variação pode influenciar na dispersão natural de películas mais finas de óleo na superfície do mar, o que reduziria as chances de identificação deste material, já que há um período de tempo entre a aquisição da imagem e o envio do recurso para averiguação *in loco*. É conhecido o processo de intemperização do óleo, como também que determinados tipos de óleo são de mais fácil degradação do que outros, contudo estas variáveis são de difícil análise – devido à falta de dados pretéritos sobre o comportamento dos óleos da área em estudo. Por este motivo, optou-se por utilizar o parâmetro "vento" como um contribuinte para a dispersão e testar a hipótese de este ser um fator de contribuição para a dispersão natural de películas mais finas de óleo, conforme seu incremento ao longo do dia e, como consequência, dificultar a confirmação do alvo identificado pela imagem orbital. A análise deste parâmetro será executada a partir dos dados de reanálise ERA5 do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* – ECMWF, com as climatologias a partir dos dados diários das componentes zonal (u) e meridional (v) do vento a 10m de

altura, em quatro horários específicos: 6h; 12h; 18h e 24h, em horário local (Brasília) ou 9h; 15h; 21h e 3h UTC (Tempo Universal Coordenado), com a utilização do software gratuito Python, que comporta o grande número de dados coletados. Foi selecionada a coordenada 041°W / 22,75°S, para execução dos cálculos das médias em cada horário avaliado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, com os dados coletados e segregados por classificação, segundo a morfologia da figura identificada, foram obtidas as percentagens para cada uma. A morfologia que mais se destacou com 84,4% das identificações foi a classificada como "descarte de unidade", seguida por "mancha órfã" com 6,7%, "vazamento de unidade marítima" com 4,5%, "descarte de navio" com 2,2%, "algas" com 1,3% e "descontrole operacional" com 0,9%.

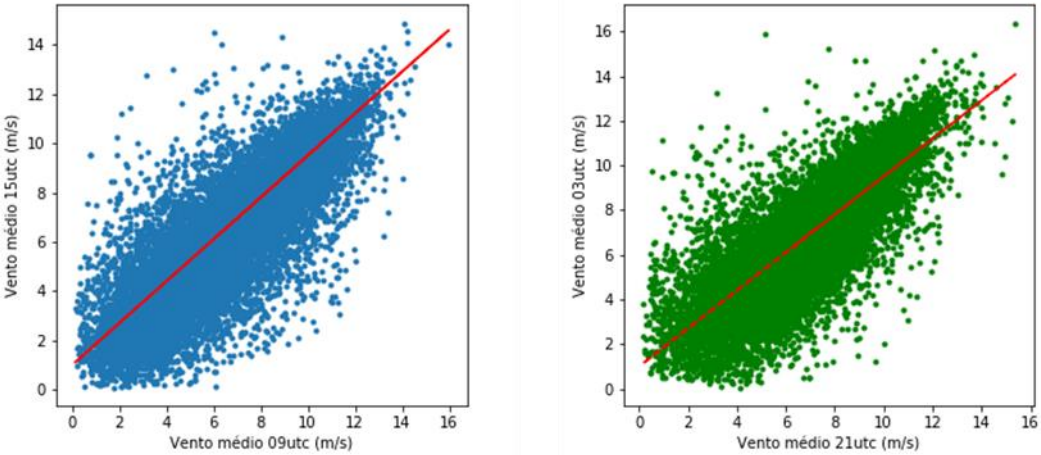
Ressalta-se que, mesmo com um valor elevado para a forma "descarte de unidade", a grande quantidade de unidades marítimas que a área de estudo abrange corrobora para este valor, pois são inúmeras aquelas que lançam sua água produzida ao mar. Também é necessário lembrar que, mesmo ocorrendo a identificação deste efluente isto não significa a constatação de poluição no ambiente marinho. Para isto, outros parâmetros, como teores de óleos e graxas deveriam ser analisados. Estes, não foram abordados neste estudo.

Com o intuito de se tentar entender a dinâmica do parâmetro "vento" sobre área de estudo, em períodos correlatos a aquisição e chegada dos recursos no provável local de existência da feição, efetuou-se as médias horárias durante o período de janeiro de 1979 a dezembro 2019, ou seja, 40 anos de dados, para verificar se havia a possibilidade de elevação da intensidade do vento no decorrer do dia e se isto poderia afetar a dispersão natural da feição ou sua morfologia, interferindo nos resultados das buscas e na forma do alvo/ feição. Como resultados as médias dos horários avaliados indicaram não haver alteração nesta intensidade no transcorrer do dia. Logo, deduz-se que o parâmetro vento, de maneira geral, não é um fator que atuará como determinante para a dispersão natural de uma feição, devido ao incremento de seu valor no transcorrer do dia.

As médias obtidas são, respectivamente para os horários de 9h; 15h; 21h e 3h UTC: 6,68m/s; 6,35m/s; 6,84m/s; e 6,81m/s.

Abaixo, segue figura com as correlações dos horários medidos de vento (9h e 15h UTC) e noturno (21h e 3h TC).

Figura 3: 03a (esquerda) e 03b (direita): correlação entre os ventos médio e linha de tendência para o estudo.



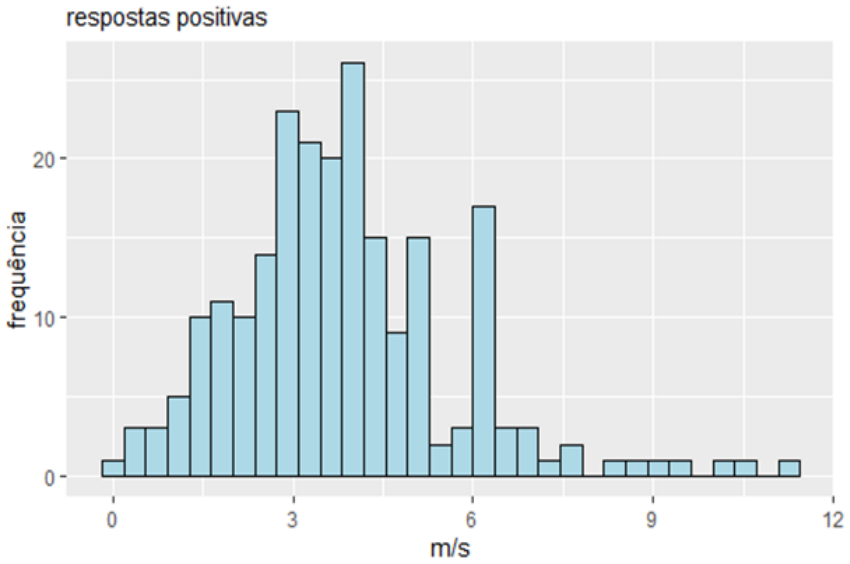
Fonte: autores.

Pela interpretação das figuras acima, verifica-se que os valores correspondentes ao período em análise para elaboração desta série histórica se agrupam em torno da linha de tendência com maior persistência, não indicando alguma proporcionalidade inversa ou possibilidade de alterações substanciais de valores de intensidade que marcassem o período de 40 anos de reanálise de dados.

Na busca de um melhor entendimento da dinâmica da distribuição dos valores de intensidade de vento, este foi particionado através de um histograma, a fim de se determinar quais as faixas predominantes para obtenção de respostas positivas.

A literatura sobre este assunto relaciona faixas ideais de intensidade de vento para obter alguma resposta sobre alvos capazes de alisar a superfície do mar. Segundo Brekke e Solberg (2004) estes valores estariam entre a faixa de 3m/s a 10m/s. Acima destes valores, apenas óleos com camadas mais espessas seriam capazes de alisar a superfície do mar e não permitir a formação das ondas de Bragg. Outros autores como Fingas e Brown (1997) já indicam a faixa de 1,5m/s a 6m/s como a faixa ideal para se identificar feições capazes de produzir este alisamento. Já para autores como Chaudhary e Kumar (2020) consideram esta faixa compreendendo intensidades de 3m/s a 12m/s. Abaixo, segue o histograma relativo as intensidades de vento coletadas nos horários próximos a aquisição das imagens.

Figura 4: histograma com os dados de vento para o período em estudo.

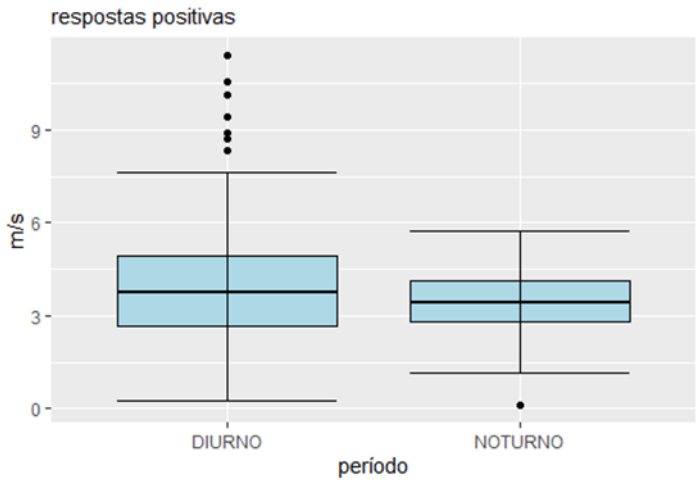


Fonte: autores

Pelos dados observados, os valores de intensidade de vento coletados nos horários próximos aqueles da aquisição da imagem estão compreendidos nas faixas descritos pelos autores anteriormente mencionados. Logo, os valores não são apenas ideais para atividade de imageamento, mas também para a identificação pelas buscas por parte dos recursos. Destaca-se que o período amostral foi de 12 meses e com isso houve passagem de tempo com características de mar mais brando – verão – e mais agitado – inverno.

Apesar desta consideração é notório que os valores de intensidade de vento não se alteram de maneira a provocar alguma diferença para as buscas com resultados positivos. Também se constata que as medianas para ambos os períodos são equivalentes, com apenas os valores relacionados ao terceiro quartil mais afastados. Contudo, esta diferença ainda se encontra dentro da faixa indicada pelos autores acima mencionados como ideias para a obtenção de alvos suspeitos através da técnica de sensoriamento remoto, especificamente SAR.

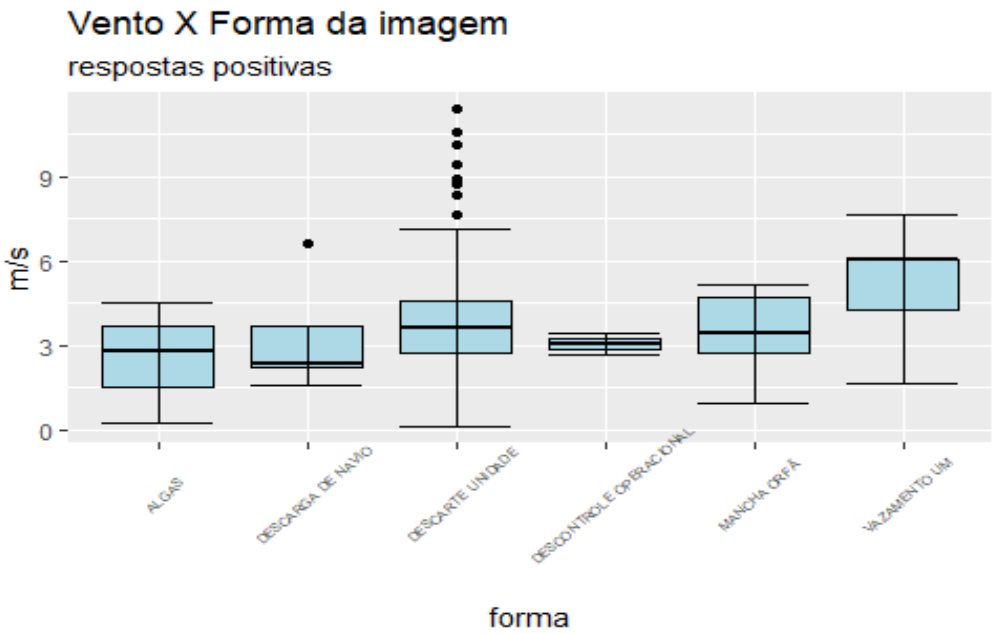
Figura 5: boxplots representando os horários de identificação de alvos/feições com seus respectivos dados de intensidade de vento.



Fonte: autores

Como um dos objetivos do trabalho é a busca do entendimento sobre a dinâmica da intensidade do parâmetro vento sobre a morfologia formada nos alvos/ feições suspeitas imageadas foram segmentadas estas classificações atribuídas pela autora na forma de um *boxplot*.

Figura 6: boxplots representando as identificações dos alvos/feições com dados de intensidade de vento coletados durante as aquisições de imagens.



Fonte: autores.

Sobre os dados acima é válido tecer algumas observações sobre a classificação dos alvos/feições. As medianas apresentadas não obtiveram diferenças importantes de valores, portanto há simetria nos dados analisados. A que apresentou uma diferença mais pronunciada em relação as demais foi a que representava a classificação “vazamento de unidade marítima”. Este pode ser explicado pela natureza do evento. Ao ocorrer um vazamento de óleo, de uma unidade marítima, o produto vazado é, possivelmente, petróleo. Com isso, mesmo com valores de intensidade um pouco mais elevados, que seriam capazes de dispersar camadas mais finas de óleo, ainda é perceptível visualmente e identificado por imageamento orbital este cenário.

É válido destacar a dispersão de dados similar entre a forma “descarte de unidade” e “mancha órfã”. Esta possibilidade pode ocorrer devido ao seu posicionamento no momento de aquisição da imagem orbital. A diferença crucial entre as duas reside no fato de feições denominadas de “descarte de unidade” estarem conectadas a unidades marítimas, enquanto que as “manchas órfãs” são feições que podem ser provenientes de descartes de unidades, mas que na aquisição da imagem não estavam conectadas, ou seja, havia um espaço físico separando as duas, pois esta se deslocou após uma parada de descarte ou devido a alguma modificação no processo onde não foi mais possível se registrar o lançamento daquele efluente, através do registro efetuado pelo satélite. Manchas órfãs também podem

ser ocasionadas por descargas de navios que fazem lançamento dos seus efluentes e, assim como acontece com os descartes de unidade, não registram o momento de contato do efluente com o navio. Os *outliers* identificados na forma classificada de "descarte de unidade" não são relevantes para a análise global dos dados, já que ainda estão enquadrados dentro da faixa ideal de identificação de feições capazes de alisar a superfície do mar e representam os valores reais medidos.

Em relação as "algas" é importante colocar que sua identificação por meio de sensoriamento remoto é identificável dentro desta faixa de intensidade de vento. Já a sua identificação visual, pelo recurso, ocorre mesmo com faixas de intensidade de vento maiores do que estas. Isto porque, durante a ocorrência de algas, uma vasta área da superfície do mar é coberta por estes vegetais, sendo fácil sua identificação, até mesmo por sua diferença de cor com o mar.

Para uma melhor análise dos dados, executou-se uma análise de variância resumida na Tabela abaixo, que demostra não haver diferença estatisticamente significativa entre os valores de intensidade de vento pela morfologia apresentada durante o imageamento. Isto pode ser afirmado visto que, utilizando-se um nível de significância de 5% (0,05) e o p-valor com o número de 0.19, fica evidenciado o p-valor ser superior ao nível de significância.

Tabela 1: ANOVA One-Way, comparação entre as médias de vento pela morfologia das formas apresentadas por imageamento.

Fatores	SQ	MQ	F	p-valor
Forma	25.53	5.1061	1.5029	0.19
Resíduos	740.68	3.3976	-	-
Total	766,21	-	-	-

df: graus de liberdade, SQ: soma quadrática; MQ: média quadrática, F: F calculado
Fonte: autores

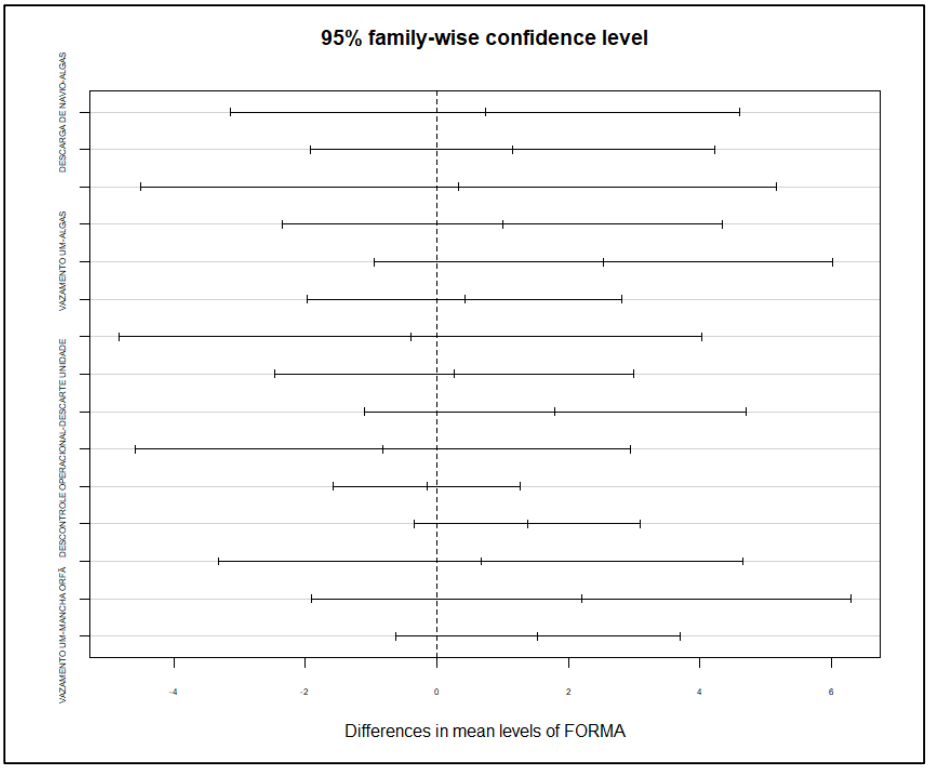
A análise *post hoc* através do *Tukey Honest Significant Difference* (HSD) está demostrada nas figuras 07 e 08. As comparações múltiplas entre os tipos de morfologias imageadas demonstraram que não há diferenças entre as taxas médias de vento registradas. Todos os valores dos intervalos de confiança contêm o valor zero. Logo, as médias dos valores de intensidade de vento, para todos as classificações de forma, não se diferenciam entre si.

Figura 7: figura contendo os resultados das múltiplas comparações através do *Tukey Honest Significant Difference* (HSD)

```
$FORMA
                                                  diff        lwr      upr     p adj
DESCARGA DE NAVIO-ALGAS                      0.7333333 -3.1371212 4.603788 0.9942153
DESCARTE UNIDADE-ALGAS                       1.1534392 -1.9306128 4.237491 0.8907378
DESCONTROLE OPERACIONAL-ALGAS                0.3333333 -4.5047348 5.171402 0.9999575
MANCHA ORFÃ-ALGAS                            1.0000000 -2.3519120 4.351912 0.9559424
VAZAMENTO UM-ALGAS                           2.5333333 -0.9554472 6.022114 0.2975134
DESCARTE UNIDADE-DESCARGA DE NAVIO           0.4201058 -1.9812005 2.821412 0.9960216
DESCONTROLE OPERACIONAL-DESCARGA DE NAVIO   -0.4000000 -4.8341627 4.034163 0.9998391
MANCHA ORFÃ-DESCARGA DE NAVIO                0.2666667 -2.4701580 3.003491 0.9997649
VAZAMENTO UM-DESCARGA DE NAVIO               1.8000000 -1.1028409 4.702841 0.4789550
DESCONTROLE OPERACIONAL-DESCARTE UNIDADE    -0.8201058 -4.5874335 2.947222 0.9890115
MANCHA ORFÃ-DESCARTE UNIDADE                -0.1534392 -1.5751169 1.268239 0.9996119
VAZAMENTO UM-DESCARTE UNIDADE                1.3798942 -0.3398278 3.099616 0.1956555
MANCHA ORFÃ-DESCONTROLE OPERACIONAL          0.6666667 -3.3229066 4.656240 0.9967979
VAZAMENTO UM-DESCONTROLE OPERACIONAL         2.2000000 -1.9052370 6.305237 0.6382534
VAZAMENTO UM-MANCHA ORFÃ                     1.5333333 -0.6303165 3.696983 0.3245683
```

Fonte autores

Figura 8: figura contendo os resultados das múltiplas comparações através do Tukey Honest Significant Difference (HSD)Fonte autores



Fonte: autores.

Também pelos dados apresentados no teste *Turkey* não foram identificadas médias que se diferenciassem com um nível de confiança de 95%.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelo exposto no decorrer deste trabalho ficou evidenciado que a principal forma/morfologia de alvo identificada por sensores imageadores são aquelas relacionadas aos próprios descartes das unidades marítimas e as respostas positivas as buscas são mais representativas no período diurno. Os valores de intensidade de vento se encontram na faixa ideal para a aquisição de imagens que trazem a possibilidade de identificação de alvos. Contudo, uma ressalva deverá ser inserida neste trabalho, pois as análises foram baseadas em respostas positivas as buscas, que já estavam enquadradas dentro das condições ditas como ideias para a identificação de alvos por sensoriamento remoto. Para se garantir que estes valores de intensidade de vento são comuns em todo o período anual e não apenas propícios a este trabalho foi necessária a execução de estudo climatológico da área, a fim de se identificar se havia alteração de valores de intensidade de vento e se estas poderiam influenciar nas respostas as buscas. Isto retificou a hipótese de que os valores de intensidade de vento sofreriam incremento no decorrer do dia, contribuindo para uma provável dispersão. Logo, pela a análise, a intensidade de vento não sofrer alterações no transcorrer do dia e é válido afirmar que as condições gerais de intensidade de vento favorecem a identificação de feições tanto o processo de aquisição da imagem, quanto na sua identificação visual, já que ocorreu prioritariamente no período diurno.

Na tratativa estatística dos dados ao se utilizar a análise de variância – ANOVA – para os dados de intensidade de vento e morfologia das feições, não foram identificadas diferenças significativas entre as médias. Os valores foram similares para todas as morfologias e não representam casos de atenção para alguma delas em particular.

Com o teste Tukey, em continuidade dos testes com os resultados de múltiplas comparações, entre os tipos de formas atribuídas as morfologias imageadas, também não foram identificados médias significativamente diferentes.

Pode-se relatar que os valores de intensidade de vento para todos os tipos de morfologia trabalham de forma igualitária para se identificar possíveis alvos contendo presença de substância capaz de alisar a superfície do mar.

A contribuição deste trabalho se dá pela forma do estudo da caracterização do parâmetro vento frente as respostas das morfologias apresentadas pelas feições obtidas em imagens orbitais. O entendimento de uma correlação entre ambas poderá contribuir para uma melhor identificação de alvos

suspeitos de origem petrogênica e as variações que podem sofrer, ou não, devido a intensidade do vento durante sua permanência na superfície do mar.

Para o período estudado, não ocorreram diferenças significativas para as diferentes respostas de morfologias. Este resultado pode ser inferido pelos valores das médias de intensidade de vento terem se demostrados similares durante a análise climatológica. Para um próximo estudo é relevante continuar com a análise de dados de meses posteriores àqueles estudados, para verificação se os mesmos se comportam, segundo a análise climatológica, ou apresentam perfil distinto desta e demostram resultados diferentes daqueles obtidos até o presente momento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALPERS, W.; HOLT, B.; ZENG, K. Oil spill detection by imaging radars: Challenges and pitfalls. **Remote Sensing of Enviroment** 201, p. 133-147, 2017.

BENTZ, M.C. **Reconhecimento automático de eventos ambientais costeiros e oceânicos em imagens de radares orbitais**. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE. Rio de Janeiro, 2006.

BRASIL. RESOLUÇÃO CONAMA número 393 de 08 de agosto de 2007. Dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: 153, Brasília, DF, ano 2007, Seção 1, páginas 72-73, 09 ago. 2007.

CARPENTER, A. Oil Pollution in the North Sea: The Impact of Governance Measures on Oil Pollution over Several Decades. **Hydrobiologia**, V. 845, p 109-127, 2019.

CHAUDHARY, V.; KUMAR, S. Marine oil slicks detection using spaceborne and airborne SAR data. **Advances in Space Research**, p. S0273117720303264, maio 2020.

FINGAS, M.; BROWN, C.E. Review of Oil Spill Remote Sensing. **Spill Science & Technology Bulletin**, Vol. 4, p. 199-208, 1997.

MOTTA, A. R. P. DA et al. Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 15–26, mar. 2013.

PETROBRAS. **Página institucional**. Disponível em: http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/bacias/bacia-de-campos.htm, acesso em 21/6/2019 às 10h40.

ARTIGO CIENTÍFICO 3

APLICAÇÃO DO PLANO NACIONAL DE CONTINGÊNCIA DURANTE A OCORRÊNCIAS DE MANCHAS DE PETRÓLEO NA COSTA BRASILEIRA

APPLICATION OF THE NATIONAL CONTIGENCY PLAN DURING OIL SPOT OCCURRENCES IN THE BRAZILIAN COAST

Juliana Fernandes Moreira - IFFluminense/PPEA
Marcos Antônio Cruz Moreira - IFFluminense/PPEA
Augusto Eduardo Miranda Pinto - IFFluminense/PPEA

RESUMO

Trata-se de uma revisão teórica de bibliografia sobre a legislação brasileira e estrangeira, além de Convenções Internacionais ratificadas pelo Brasil que fazem referência a poluição do ambiente marinho, principalmente por descargas de óleo. Esta revisão tem como base apresentar ao leitor os focos de cada uma e a forma como se complementam para uma sadia manutenção dos mares e oceanos. O objetivo principal do trabalho é correlacionar estas legislações e convenções e discutir a aplicação específica do Plano Nacional de Contingência, instituído em 2013, em evento considerado com relevância nacional, que se iniciou final de agosto de 2019 e se estendeu por meados de março de 2020. Neste período ações de esferas governamentais brasileiras foram efetuadas, contudo há conflitos sobre a atuação específica do Governo Federal, mediante seus entes componentes do Grupo de Avaliação e Controle, na aplicação deste Plano e se a sua adoção estava condizentes com as legislações e convenções ratificadas, bem como a reflexão se houveram resultados efetivos para minimização de impactos ambientais negativos ou se a aplicação do Plano foi falha por não seguir as determinações estabelecidas em sua própria lei de origem e daquelas que a permeiam.

Palavras-chave: Legislação. Manchas no Nordeste. Petróleo. Plano Nacional de Contingência.

ABSTRACT

This is a theoretical review of the bibliography on Brazilian and foreign legislation, in addition to International Conventions ratified by Brazil that refer to pollution of the marine environment, mainly by oil discharges. This review is based on presenting the reader with the focus of each one and how they complement each other for a healthy maintenance of the seas and oceans. The main objective of the work is to correlate these laws and conventions and discuss the specific application of the National Contingency Plan, instituted in 2013, in an event considered to be of national relevance, which started in late August 2019 and extended through mid-March 2020 In this period, actions by Brazilian governmental spheres were carried out, however, there are conflicts over the specific performance of the Federal Government, through its members of the Evaluation and Control Group, in the application of this Plan and whether its adoption was consistent with the ratified laws and conventions. , as well as the reflection if there were effective results to minimize negative environmental impacts or if the application of the Plan was failed due to not following the determinations established in its own law of origin and those that permeate it

Keywords: Legislation. Oil in the Northeast. Petroleum. National Contingency Plan.

1. INTRODUÇÃO

A relação do homem com o mar é basilar, prístina, medular. Além de suas funções vitais para geração e manutenção de vida no planeta Terra, os mares e oceanos são importantes para a história da humanidade, já que a navegação faz parte do cotidiano humano desde tempos remotos. Há relatos de povos, como os fenícios, considerados grandes mercadores em sua época, que se lançavam ao mar (1.200 a.C.) e posteriormente outros navegadores surgem como Os gregos e o próprio Império Romano (MARTINS, 2014).

Grandes rotas de comércio, povos conquistados e geração de tecnologias foram criadas para suportar o incremento da navegação na Era das descobertas – XV a XVIII. Tecnologia é a palavra que impulsiona o ser humano a seguir adiante. Os países limítrofes à zona marítima intensificaram a utilização dos mares e oceanos para sua expansão.

Registros de transporte marítimo de óleo datam de novembro de 1861, com o navio americano Elizabeth Watts, que transportou o primeiro carregamento de petróleo para a Europa. O primeiro navio petroleiro data de 1886, sendo um navio alemão de nome Gluckauf. A bem sucedida viagem e tecnologia aplicadas neste navio resultaram na construção de outras 45 unidades em 1893 (HECK, 2012).

Já no século passado, com a demanda cada vez mais crescente do recurso natural petróleo e seus derivados, a sua exploração e transporte tornaram-se mais frequentes, assim como seus acidentes, já que o transporte marítimo não deixa de ser uma atividade potencialmente perigosa, principalmente frente a situações adversas e às intempéries as quais os navios são submetidos durante suas rotas de navegação, acrescido pelas dimensões dos navios petroleiros e sua grande capacidade de armazenamento. A sociedade como um todo requer cada vez mais a utilização de energia, sendo o petróleo uma das mais utilizadas, contudo ela – a sociedade – também compreende o valor dos recursos naturais e a importância dos oceanos e sua sadia manutenção.

No término do mês de agosto de 2019 iniciou-se uma recorrente e pungente chegada de manchas de petróleo intemperizado – emulsificado – na costa do nordeste brasileiro, que posteriormente estendeu-se para estados na região sudeste. Os danos ambientais crônicos, que levam um tempo maior para se manifestar, ainda não são totalmente conhecidos para este evento, porém são conhecidos os efeitos da bioacumulação em cadeias tróficas marinhas que podem chegar aos seres humanos devido a ingestão de pescados e mariscos das regiões atingidas. Os efeitos agudos do desastre foram sentidos pela população que obtém sua renda de atividades ligadas a turismo e pesca nas regiões atingidas, que sentiram a queda da atratividade local devido a chegada das manchas.

Em um primeiro tópico são abordadas as convenções e legislações ambientais – nacionais e internacionais – que tangem o assunto poluição marinha, bem como os organismos internacionais responsáveis por estabelecer diretrizes para sua não geração ou minimização.

Já em um segundo tópico é explicitado o Plano Nacional de Contingência, onde são atribuídas delegações a entes federativos durante ocorrências de magnitude nacional. Também são apontadas três definições de suma importância durante a ocorrência de acidentes deste porte, que garantiriam robustez e celeridade para uma resposta com resultados positivos frente ao evento. Por fim, são apresentadas informações sobre as ações dos responsáveis pela resposta e a reflexão sobre seus resultados e se houve ou não a aplicação de legislação nacional e internacional no evento.

Com isso, busca-se elencar as legislações e convenções e suas características que convergem para a prevenção e combate a poluição, com sua execução em situação real e a avaliação das ações tomadas pelos entes que devem resguardar a aplicação destes mecanismos de defesa ambiental.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Legislações e convenções acerca da poluição marítima

A IMO (*International Maritime Organization*) foi criada após a Segunda Guerra Mundial, em 1948, inicialmente com a nomenclatura de Convenção da Organização Intergovernamental Consultiva da Navegação Marítima – OCMI, sendo um organismo especializado dentro da estrutura da Organização das Nações Unidas e cujo propósito inicial fazia referência as competências econômicas e de comércio do tráfego marítimo. Neste momento ainda não são tratadas questões relacionadas à proteção ao meio ambiente os seus propósitos a promoção da segurança marítima e a prevenção da poluição. Sua convenção foi assinada pelo Brasil em 1957 (Marinha do Brasil. Página institucional. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/dhn/?q=pt-br/omi, acesso em 08/06/2020 às 16h40).

Em 1954 ocorreu a Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição dos Mares por Óleo – OILPOL 1954, organizada pelo governo da Inglaterra. Nesta convenção, reconheceu-se que a maior parte da poluição dos mares era causada pelas rotinas operacionais das embarcações como também da limpeza de tanques de navios cargueiros. A OILPOL 54 proibia o lançamento de resíduo oleoso a determinada distância da costa e de áreas especiais. Em 1962 seus limites foram estendidos e adotada em outras Convenções da IMO.

Apenas a partir da década de 60, com o início de movimentos ambientais e a ocorrência de alguns acidentes com navios petroleiros, onde o acidente em 1967 com a embarcação liberiana Torrey Canyon, onde foram vazados 119.000 toneladas de petróleo bruto (HECK, 2012), e a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, realizada em 1972, a IMO inicia seu olhar para a preservação ambiental dos mares e oceanos. A IMO não atua como um órgão que delibera legislações, mas sim como um organismo especializado onde os países tornam-se signatários de suas convenções, comprometendo-se a cumpri-las.

A primeira atuação da IMO em relação às questões ambientais ocorreu em 1969 com a criação da Convenção Internacional sobre Responsabilidade Civil em Danos por Poluição por Óleo, a CLC/69. Esta Convenção foi elaborada após o acidente anteriormente mencionado com a embarcação petroleira Torrey Canyon. Percebeu-se que os danos causados pelo acidente ambiental foram de tamanha proporção, que os mecanismos de compensação existentes não eram suficientes para pagar por todos os danos provenientes da contaminação por petróleo (MARTINS, 2014). Logo, esta Convenção foi criada para assegurar a compensação adequada sendo aplicada em acidentes com danos causados por óleos persistentes, ou seja, óleo bruto, que é o foco do transporte de carga dos navios petroleiros. Outro ponto de destaque desta Convenção é que para navios que transportem mais de 2.000 toneladas de óleo a granel como carga, é necessário a confecção de seguro ou outro mecanismo de garantia financeira para

cobrir sua responsabilidade por eventuais danos por poluição. Esta Convenção também enaltece um dos princípios do direito – o de poluidor-pagador.

Vale destacar que as melhorias em segurança da navegação propostas pela IMO e outras entidades são contribuintes não apenas para o que se destinam, mas também para a preservação dos mares e oceanos, já que corroboram para evitar a ocorrência de incidentes cujo potencial poluidor está intrínseco, como, por exemplo, uma explosão que pode causar avarias no casco e vazar a carga para o mar.

Coloca-se que também em 1968 foi fundada a ITOPF (*International Tanker Owners Pollution Federation*), que é uma organização sem fins lucrativos financiada por proprietários de navios petroleiros, onde estes se afiliam e custeiam o acesso a equipes treinadas e equipamentos para combate a vazamentos de óleo no mar e costa. Esta federação atua também no desembaraço aduaneiro de equipamentos para uma resposta mais rápida onde tenha ocorrido o vazamento (ITOPF. Página institucional. Disponível em https://www.itopf.org/fileadmin/data/Documents/Company_Lit/Technical_Services_Brochure_2019_Portuguese.pdf, acesso em 09/06/2020 às 11h).

Acidentes com vazamento de óleo e seus derivados, principalmente de navios tanques se intensificaram e a partir da década de 70 a ITOPF (*International Tanker Owners Pollution Federation*) realiza estatísticas de vazamentos de petróleo para o mar. Na figura abaixo são relacionados os acidentes mais expressivos com vazamento de petróleo.

Figura 9: figura contendo lista de vazamento de óleo desde 1967.

Position	Shipname	Year	Location	Spill size (tonnes)
1	ATLANTIC EMPRESS	1979	Off Tobago, West Indies	287,000
2	ABT SUMMER	1991	700 nautical miles off Angola	260,000
3	CASTILLO DE BELLVER	1983	Off Saldanha Bay, South Africa	252,000
4	AMOCO CADIZ	1978	Off Brittany, France	223,000
5	HAVEN	1991	Genoa, Italy	144,000
6	ODYSSEY	1988	700 nautical miles off Nova Scotia, Canada	132,000
7	TORREY CANYON	1967	Scilly Isles, UK	119,000
8	SEA STAR	1972	Gulf of Oman	115,000
9	SANCHI*	2018	Off Shanghai, China	113,000
10	IRENES SERENADE	1980	Navarino Bay, Greece	100,000
11	URQUIOLA	1976	La Coruna, Spain	100,000
12	HAWAIIAN PATRIOT	1977	300 nautical miles off Honolulu	95,000
13	INDEPENDENTA	1979	Bosphorus, Turkey	95,000
14	JAKOB MAERSK	1975	Oporto, Portugal	88,000
15	BRAER	1993	Shetland Islands, UK	85,000
16	AEGEAN SEA	1992	La Coruna, Spain	74,000
17	SEA EMPRESS	1996	Milford Haven, UK	72,000
18	KHARK 5	1989	120 nautical miles off Atlantic coast of Morocco	70,000
19	NOVA	1985	Off Kharg Island, Gulf of Iran	70,000
20	KATINA P	1992	Off Maputo, Mozambique	67,000
21	PRESTIGE+	2002	Off Galicia, Spain	63,000
36	EXXON VALDEZ+	1989	Prince William Sound, Alaska, USA	37,000
132	HEBEI SPIRIT+	2007	South Korea	11,000

Fonte:https://www.itopf.org/fileadmin/data/Documents/Company_Lit/Oil_Spill_Stats_brochure_2020_for_web.pdf, acesso em10/06/2020 às 17h.

A Convenção MARPOL (Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição Causada por Navios), criada pelo Comitê de Proteção do Meio Ambiente em 1973, é atualmente uma das Convenções mais significativa da IMO. É imprescindível destacar que esta Convenção não aborda apenas substâncias oleosas ou provenientes de navios petroleiros , mas sim sobre a descarga de qualquer substância nociva ao meio ambiente marinho, conforme preconiza a própria Convenção "[...] obter a completa eliminação da poluição intencional do meio ambiente marinho por óleo e por outras substâncias danosas, e a minimização da descarga acidental daquelas substâncias". Definição importantes foram incorporadas a esta Convenção, tais como "descarga" "[...] qualquer liberação, qualquer que seja a sua forma, causada por um navio e abrange qualquer escapamento, lançamento, derramamento, vazamento, bombeamento, emissão ou esgoto" (artigo 2º, §3º, "a"), o que inclui as descargas acidentais e intencionais. A noção de "navio" também está inserida, o que representa um ganho significativo para o entendimento e aplicabilidade da Convenção, pois se evita a conjectura do que significa embarcação ou navio. Na Convenção, "navio" significa "[...] uma embarcação de qualquer tipo operando no meio ambiente marinho e abrange embarcações do tipo hidrofólio, veículos que se deslocam sobre um colchão de ar, embarcações submersíveis, flutuantes e plataformas fixas ou flutuantes" (artigo 2º, §4º).

Ressalta-se que a Convenção MARPOL não proíbe o alijamento de "lixo" nos oceanos, mas sim estabelece regras para este ato. É definido na Regra 1, do Anexo V, desta Convenção que "Lixo" "[...] significa todos os tipos de rejeitos de mantimentos, rejeitos domésticos e operacionais, exceto peixe fresco e suas partes, gerados durante a operação normal do navio e passíveis de serem descartados contínua ou periodicamente, exceto aquelas substâncias que estão definidas ou listadas em outros Anexos da presente Convenção".

A MARPOL é constituída por Anexos, e estes por Regras que possuem definições, exigências, aplicações, isenções e dispensas, vistorias, exceções, entre outros tópicos que compõe o corpo estrutural da Convenção. Um dos anexos mais interessantes no que tange a segurança para a prevenção de poluição por hidrocarbonetos é o Anexo I que aborda as Regras para a Prevenção da Poluição por Óleo, onde "óleo" é definido como "[...] o petróleo em qualquer forma, inclusive óleo cru, óleo combustível, borra de óleo, rejeitos de óleo e produtos refinados (que não aqueles produtos petroquímicos sujeitos ao disposto no Anexo II da presente Convenção) e que, sem limitar a generalidade dos produtos acima, inclui as substâncias listadas no apêndice 1 deste Anexo."

Este Anexo I também estabelece uma medida de prevenção interessante para casos de acidentes causados por abalroamento da embarcação. Os cascos de petroleiros entregues depois de 1996 – Regra 19 – e antes de 1996 – Regra 20 devem ser duplos, ou seja, deve haver uma segregação entre o casco externo e o casco que contém os compartimentos de transporte de algum tipo de "óleo" conforme definição desta Convenção.

A MARPOL é uma Convenção onde países aceitam ser seus signatários, ou seja, o país declara que está de acordo com as Regras contidas em seus Anexos. Com isto, assume que irá cumprir o que está estabelecido no documento. Isto não impede que sejam elaboradas legislações que restrinjam ações ou demandem mais de armadores ou proprietários de embarcações. Um exemplo deste fato foi a criação de legislação pelos Estados Unidos da América, a *Oil Pollution Act*, de 1990, que inclui a retirada de navios com casco simples de operação, respeitando cronograma estabelecido na legislação.

Outras Resoluções provenientes da IMO, como a A.720, que aborda "Diretrizes para a Designação de Zonas Especiais e Identificação de Zonas Marítimas Especialmente Sensíveis", que criou/ delimitou categorias de zonas marítimas para assim realizar uma melhor proteção de áreas sensíveis, com a proibição de navegação nestas áreas (HECK, 2012). Contudo, a proibição de navegação em algumas áreas pode ser contraditória ao determinado na Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, celebrada em Montego Bay, em 1982. No Brasil, esta passagem é mencionada na Lei nº 8.617, de 4 de janeiro de 1993. Nesta Lei, em seu artigo 3º, é referenciado o "direito de passagem inocente", sendo em seu parágrafo primeiro definido o que se trata a passagem inocente "[...] § 1º A passagem

será considerada inocente desde que não seja prejudicial à paz, à boa ordem ou à segurança do Brasil, devendo ser contínua e rápida."

Outra convenção de relevância é a Convenção Internacional sobre Mobilização de Recursos, Resposta e Cooperação contra Poluição por Óleo OPRC/1990, promulgada pelo Decreto nº 2.870, de 10 de dezembro de 1998, tem como principais objetivos a cooperação internacional de ajuda mútua; um sistema nacional de resposta imediata, que no Brasil levou a existências de outras legislações, como o Decreto nº 8.127, 22 de outubro de 2013, que institui o Institui o Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional – que será abordado no decorrer deste trabalho; a existência de planos de emergência para controle da poluição por óleo por navios, operadores de plataformas oceânicas autoridades e operadores encarregados dos portos marítimos e instalações que operam com óleo; e a notificação de incidentes com poluição por óleo ao país costeiro mais próximo. Este último item acaba por se atrelar a boa-fé do capitão e/ou armador do navio, que podem não realizar esta comunicação devido a assumir a culpa e a responsabilidade por crime de caráter ambiental, respondendo por este no país onde ocorreu o incidente, como também no Tribunal Internacional Marítimo, que é o órgão jurisdicional previsto pela Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar, relatado anteriormente neste trabalho.

Ao tratar de legislações ambientais que relacionam o assunto óleo em ambiente marinho ou limítrofe a ele – área costeira, o Brasil também possui legislações próprias e que fazem abrangência para águas sob jurisdição nacional.

Uma das principais legislações ambientais brasileiras é a Lei nº 9.966, de 28 de abril de 2000, que dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. Esta legislação também é conhecida como a Lei do Óleo e é uma legislação complementar quando ausente os pressupostos para aplicação da MARPOL 73/78 ou complementar a ela, já que o país é signatário desta Convenção. São pontos em comum entre ambas as legislações a aplicação para a eliminação de poluição intencional de óleo, sendo que a MARPOL, em seus Anexos, se torna mais abrangente por mencionar outros tipos de resíduos e efluentes. Contudo, por ser uma Convenção, não estabelece valores de multa ou infrações e sanções, como ocorre na Lei do Óleo.

Um importante ponto postulado por esta legislação é a consolidação de planos de emergência individuais em um único plano de emergência abrangendo a área onde há o mesmo risco de poluição, onde deverão os proprietários das instalações, conjuntamente, definir os meios de ações de resposta para combate a poluição. A consolidação e aval final deste plano será efetuada pelo órgão ambiental competente, na forma de planos de contingência locais ou regionais, em conjunto com os órgãos de defesa civil. Fica o órgão ambiental federal, obedecendo o disposto na Convenção Internacional sobre

Mobilização de Recursos, Resposta e Cooperação contra Poluição por Óleo OPRC/1990, mencionada anteriormente, o responsável pela consolidação estes planos locais ou regionais em um único plano, que é o Plano Nacional de Contingência, que foi posteriormente estabelecido pelo Decreto nº 8.127, de 22 de outubro de 2013, ou seja, treze anos após sua requisição pela Lei do Óleo. O Plano Nacional de Contingência é de extrema importância, principalmente pelo fato de permitir aos órgão que compõe o Comando Unificado sobre quais os recursos, quantidades e locais estão dispostos os equipamentos e facilidades para um rápido e efetivo combate à poluição causada por óleo, o que permite, inclusive, requisitar a operadores recursos não disponíveis em determinadas localidades, facilitando a logística e permitindo celeridade no processo.

Em harmonia com outras legislações/convenções, como a Convenção Internacional sobre Mobilização de Recursos, Resposta e Cooperação contra Poluição por Óleo OPRC/1990, a Lei do Óleo cita em seu artigo 22º que qualquer incidente que possa provocar poluição nas águas sob jurisdição nacional deverá ser comunicado imediatamente ao órgão ambiental competente, à Capitania dos Portos e ao órgão regulador da indústria do petróleo, mesmo que medidas tenham sido tomadas para seu controle e a situação não seja mais caracterizada como emergência ou incidente. Em seu parágrafo único, constante do artigo 23º é feita referência a Convenção Internacional sobre Responsabilidade Civil em Danos por Poluição por Óleo, a CLC/69, quando aborda que se a descarga ocorrer por navio não possuidor do certificado exigido pela Convenção supracitada, a embarcação somente será liberada após depósito caução como garantia para pagamento das despesas decorrentes da poluição.

A Lei do Óleo também designa infrações e impõe sanções, como também elege os atores que responderão pelas infrações, quando atuarem na ação ou omissão dos atos. Estes podem ser: o proprietário do navio; armador ou operador do navio; concessionária ou empresa autorizada a operar atividades pertinentes a indústria do petróleo; comandante ou tripulante do navio; a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, que legalmente represente o porto organizado, a instalação portuária, a plataforma e suas instalações de apoio, o estaleiro, a marina, o clube náutico ou instalação similar; e/ou o proprietário da carga. Logo, é perceptível que haverá um ator responsabilizado pelo incidente, mesmo que este não tenha atuado de forma direta no incidente, como seria o caso de um proprietário de carga, que não avaliou devidamente a contratação de prestação de serviço de transporte.

Dentre as resoluções que regem as atividades de exploração e produção de petróleo a Resolução CONAMA nº 393, de 08 de agosto de 2007, que dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural, e dá outras providências é uma das mais relevantes para a indústria do petróleo cuja extração ocorre nas águas jurisdicionais brasileiras.

Ao longo da vida de um campo produtor de petróleo há a extração simultânea de gás, óleo e água. Esta água é denominada de água produzida ou água de produção, sendo um resíduo de volume considerável. Este efluente pode conter uma mistura complexas de compostos (orgânicos e inorgânicos), que necessitam de tratamento específico antes de serem descartados no mar, injetados com poços ou reutilizados em processos. O óleo presente na água produzida pode estar na sua forma livre, dissolvido ou emulsionada, sendo esta última a de maior grau de dificuldade de tratamento (MOTTA *et al*., 2013). Quanto mais antigo e explorado um campo de petróleo, maior a tendência a gerar água frente ao óleo.

O principal parâmetro de monitoramento contido nesta resolução é o de Teor de Óleos e Graxas – TOG. Todo descarte de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural deverá atender os seus limites estabelecidos de 29 $mg.L^{-1}$, para a média aritmética simples mensal, e 42 $mg.L^{-1}$, para o valor máximo diário. Outros países possuem limites diferentes ao estabelecidos na legislação brasileira, como por exemplo os países do Oriente Médio e Mar do Norte cujo limite mensal é de 30 $mg.L^{-1}$. A legislação americana adota os mesmos valores que a brasileira, enquanto que países como Venezuela e Argentina contam com valores de 15 $mg.L^{-1}$ (MOTTA *et al*., 2013).

Uma das dificuldades encontradas para o não descarte desta água e sua reinjeção são os próprios valores de óleos e graxas, como também o de sólidos totais dissolvidos. Isto ocorre devido a possibilidade de obstrução dos poros da rocha reservatório de petróleo (BADER, 2007).

Atendendo ao artigo 13º desta resolução, o órgão ambiental competente, que no caso para atividades de exploração e produção de petróleo no mar territorial brasileiro é o IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – disponibiliza através da rede mundial de computadores os resultados dos monitoramentos realizados pelas operadoras de petróleo. Com isto, qualquer cidadão terá o direito de visualização e identificação de unidades marítimas / operadoras de petróleo que não estejam atendendo aos requisitos expressos nesta resolução e cobrar da autarquia responsável pela fiscalização deste tipo de descarte as medidas cabíveis e necessárias ao seu cumprimento.

Destaca-se a busca de tecnologias e melhorias nos processos a fim de se evitar o descarte de água produzida, mesmo dentro dos limites do parâmetro. Contudo, estas ainda são de elevado valor e nem sempre de fácil manejo para plataformas antigas e que já operam em campos maduros.

Outra Resolução CONAMA que merece destaque é a nº 398, de 11 de junho de 2008, que dispõe sobre o conteúdo mínimo dos Planos de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo. Esta resolução cita quais empreendimentos deverão adotar tais planos e o que devem constar nos mesmos, bem como quais são as possibilidades de se aplicar um plano de área. Também descreve em

quais situações o plano de emergência deverá ser reavaliado e, caso ocasione alterações em sua capacidade de resposta, o mesmo deverá ser aprovado pelo órgão ambiental competente e inseridas as alterações nos autos de licenciamento ambiental da instalação.

A Resolução CONAMA 398/2008 também determina a capacidade de resposta baseada na estratégia de resposta e cenários de incidentes ambientas potenciais decorrentes de suas atividades. Com estas orientações, o empreendedor terá em números e tipologias de equipamentos as quantidades mínimas necessárias para cada cenário descrito no seu plano de emergência. É destacado que nesta resolução são abordados critérios para descargas pequenas ($8m^3$), médias (até $200m^3$) e as de pior caso (que sofrerá influência do cenário acidental). O empreendedor deverá ter recursos próprios ou contratados e disponíveis de imediato para estas atuações. Esta resolução também elenca o conceito e o cálculo da Capacidade Efetiva Diária de Recolhimento de Óleo (CEDRO). Este conceito fixa a ideia de que, no mínimo, o recolhimento de óleo diário, para cada tipo de cenário, deverá ser atendido. Os valores são mínimos, o que permite ao órgão licenciador exigir uma maior contribuição de equipamentos de combate a poluição, em caso de atestar modificações e/ou incremento das atividades, como mencionado anteriormente, ou mesmo, após a ocorrência de incidente real ou simulado, a constatação de não suficiência dos recursos.

Para instalações offshore, plataformas de petróleo e FPSO (*Floating Production Storage and Offloading*), além de possuírem seus próprios planos de atendimento a emergências individuas, o órgão ambiental licenciador poderá requisitar que sejam apresentadas uma estrutura organizacional, recursos e procedimentos compartilhados para uma mesma área geográfica, disponíveis em um documento único. Usualmente, para atendimento a emergências de vazamento de óleo no mar são utilizadas embarcações de recolhimento de óleo – *oil recovery response vessel*. Estas embarcações são dotadas de equipamentos como barreiras de contenção, recolhedores (*skimmers*), braços para aplicação e dispersantes químicos, além de possuírem tancagem, ou seja, capacidade de armazenamento de resíduo oleoso coletado durante um incidente com óleo no mar. A quantidade de embarcações disponíveis por área geográfica, bem como a tancagem e equipamentos necessários serão efetuados baseados no cálculo do CEDRO. Os planos de emergência consolidados para determinada área geográfica atenderam aos volumes de descargas pequenas, médias e de pior caso.

Esta Resolução também indica a necessidade de planos de emergência individuas, porém simplificados, para atividades cujo impacto no caso de derramamento de óleo, sejam considerados de menor potencial. É o caso de marinas, clubes náuticos, pequenos atracadouros, instalações portuárias públicas de pequeno porte e instalações similares que armazenem óleo, que abasteçam embarcações em seus cais, e as sondas terrestres.

Esta CONAMA tem alguns pontos de atenção e críticas, principalmente pelos responsáveis e executores dos planos de emergência. Isto por falta de detalhamento de dimensionamento de recursos. O órgão ambiental licenciador fica com a função de fazer definições e estabelecer quais recursos e quantidades serão necessárias para determinado atendimento. Contudo, este trâmite pode ser subjetivo.

As legislações, convenções e resoluções apresentadas tem como base proporcionar aos gestores públicos mecanismos para ordenar situações que necessitam de rápida atenção e tratativa para proteção do meio ambiente e consequentemente da vida humana. Estas bases jurídicas trabalham em conjunto, complementando uma a outra, mesmo que não estejam explicitamente ligadas, como ocorre entre a Lei do Óleo e a Resolução CONAMA 398/2008, onde a primeira menciona que deverá existir mecanismos para combate à poluição por óleo e planos de emergência, enquanto que a segunda descreve o que deve conter nestes planos e quais equipamentos poderão ser utilizados. Estes artifícios operam de forma paralela e complementares a fim de garantir aos gestores as ferramentas legais necessárias para atendimento a situações descritas em planos de emergência ou outras de impacto ambiental.

2.2 Plano Nacional de Contingência e suas definições

O Decreto nº 8.127, de 22 de outubro de 2013, instituiu Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional – PNC. A este decreto podemos atribuir a fixação de responsabilidades, estrutura organizacional e diretrizes para permitir uma atuação coordenada entre entes da administração pública e privada em casos de incidentes por poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional.

Este decreto traz três novas definições de expressiva importância para uma célere atuação em casos de incidentes por óleo: o Comando Unificado de Operações, Grupo de Acompanhamento e Avaliação e o Sistema de Comando de Incidentes.

O Comando Unificado de Operações atua com representantes de diversos órgãos e entidades públicas, sob a coordenação de um Coordenador Operacional, para gerir a emergência. Poderão ser convidados indivíduos de empresas privadas para atuação no Comando Unificado, incluindo daquelas que causaram e/ou tiveram participação no incidente.

O Grupo de Acompanhamento e Avaliação é composto pela Marinha do Brasil, IBAMA e ANP (Agência Nacional de Petróleo). Sua principal tarefa é acionar o PNC nos casos de incidentes de poluição por óleo de significância nacional. Um destes membros atuará como Coordenador Operacional da emergência, sendo apoiado pelos outros entes. A divisão para definição de qual será o Coordenador Operacional está baseada nas atribuições de cada um, porém não fica restrita a apenas aquele. Por exemplo, cabe a Marinha do Brasil assumir este posto nos casos de a poluição ter ocorrido em águas

marítimas. Contudo, os outros órgãos poderão assumir este papel, caso seja acordado entre os mesmos. Esta atuação conjunta facilita a troca de informações, definições de prioridades e pertinência de responsabilidades.

Outro ponto relevante é a utilização de um Sistema de Comando de Incidentes. Na ordem prática são ferramentas de gerenciamento de incidentes padronizadas, onde a estrutural organizacional fica determinada por hierarquias, onde são atribuídas funções aos integrantes da estrutura de resposta que elaboram estratégias para a atuação e minimização dos impactos causados pelo incidente, sempre se reportando ao seu superior hierárquico, até o Comandante do Incidente. A atuação em incidentes com a utilização da forma de organização/ sistema não é inédita ou originária do decreto do PNC. Os Estados Unidos já utilizam esta ferramenta a algumas décadas e contam com uma agência federal de gerenciamento de emergências, a FEMA - *Federal Emergency Management Agency* (FEMA. Página institucional. Disponível em: https://training.fema.gov/emiweb/is/icsresource/, acesso em 10/06/2020 às 14h50).

Outro item de relevante interesse neste decreto é a criação do Sisnóleo. Este instrumento do PNC tem como fundamento principal a consolidação e disponibilização de dados, em tempo real, para suporte as decisões do Comando Unificado de Operações. Contudo, o mesmo ainda não é implementado até o presente momento. Isto pode ter contribuído para uma maior agilidade na tratativa de identificação de locais com presença de óleo, recursos necessários para mitigação dos efeitos negativos destes compostos de origem petrogênica e definição de estratégias de ações de resposta pela equipe responsável, bem como a divulgação de dados para a população.

Suas funcionalidades deveriam estar desenvolvidas e implementadas após dezoito meses da publicação do decreto. Porém, como consta na resolução CGD nº 3, de 06 de maio de 2020, que aprova o Plano Diretor de Tecnologia da Informação e Comunicações – PDTIC Ibama 2020-2023, a ação A0715, que está relacionada ao desenvolvimento e implantação do Sisnóleo, ainda se encontra com status “em desenvolvimento” (IBAMA. Página institucional. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/acesso-a-informacao/documentos-oficiais/plano-diretor-de-tecnologia-da-informacao-e-comunicacoes-pdtic-ibama-2020-2023/2020_05_25_ibama_pdtic.pdf/view, acesso em 10/06/2020 às 15h40).

3. MATERIAIS E MÉTODO

3.1 Materiais

Realizou-se pesquisa bibliográfica, com o objetivo de obter e selecionar as legislações ambientais de maior relevância para a discussão do tema proposto. Foram coletadas informações em artigos, publicações periódicas e páginas de websites.

3.2 Método

Efetuou-se uma pesquisa exploratória baseada na análise das ações frente ao que demanda o Plano Nacional de Contingência e o progresso de sua implantação como determinado pela legislação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Entre o final de agosto e início de setembro de 2019 diversas localidades – praias – do Nordeste e, posteriormente em menor escala, do Sudeste do país foram atingidas por petróleo emulsificado. Esta situação permaneceu até meados de março de 2020.

Esta foi o maior desastre ambiental ocorrido no país. Isto não é apenas pelo longo período provocado pela emergência, de aproximadamente 7 meses, mas também pela extensão geográfica – mais de 4.000km (Marinha do Brasil. Página institucional. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/manchasdeoleo/sobre, acesso em 10/06/2020 às 16h). O volume de resíduos coletado (mistura de petróleo com areia e outros materias) também chegava a quantidades expressivas no início de novembro: cerca de 4,5 mil toneladas recolhidas em oito estados da região (Revista Piauí. Disponível em: https://piaui.folha.uol.com.br/sobre-o-oleo-derramado, acesso em 10/06/2020 às 17h).

A magnitude dos números apresentados por este acidente já nos remete a reflexão sobre a revisão da nossa estrutura legal sobre poluição por óleo e se a forma como atuam é condizente com a realidade. Porém, também nos faz questionar se a estrutura legal é suficiente e não foi aplicada conforme é preconizada, ou seja, a lei não foi cumprida.

Em meio a toda repercussão do assunto nas mídias nacionais e internacionais, sem determinação até o presente momento, de um responsável pelo dano causado, apenas a indicação pela Polícia Federal, através da operação Mácula, de um provável suspeito, o navio grego Bouboulina, que zarpou em 8 de julho de 2019, de Porto José na Venezuela, com 1 milhão de barris de petróleo venezuelano, que condizia com a análise de biomarcadores do petróleo encontrado nas praias. A estimativa seria de 2,5 mil toneladas de óleo vazado, o que corresponderia a apenas 1,8% da carga transportada (G1.

Disponível em: https://g1.globo.com/natureza/desastre-ambiental-petroleo-praias/noticia/2019/11/01/navio-grego-suspeito-no-caso-das-manchas-no-nordeste-carregou-1-milhao-de-barris-de-petroleo-na-venezuela.ghtml, acesso em 10/06/2020 às 17h05).

Durante todos os meses que decorreram de aparecimentos manchas nas praias e investigações algumas críticas realizadas sobre os órgãos que compõe o Grupo de Acompanhamento e Avaliação formado pela Marinha do Brasil, Agência Nacional de Petróleo e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), que executaram ações em conjunto com ICMBio, Polícia Federal, Petrobras, Defesa Civil, Exército Brasileiro (EB) e Força Aérea Brasileira (FAB). Isto ocorreu devido a forma de condução das ações que se delongaram para entrar em vigor, bem como a oficialização do PNC. Em outubro de 2019 o Ministério Publico Federal de nove Estados do Nordeste moveram uma ação junto à Justiça Federal para obrigar a União a acionar o PNC (BBC Brasil. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/brasil-50104828, acesso em 10/06/2020 às 17h20). Outro ponto de atenção foi a não publicação do Manual do PNC, como consta no artigo 2º inciso VIII, que seria um documento técnico que conteria procedimentos operacionais para a resposta a incidentes por óleo de significância nacional.

Com isto, destaca-se a não aplicação do PNC na maior tragédia ambiental sofrida pelo país. Não há evidências claras e objetivas de plena atuação.

Dentre os documentos que sugeririam o acionamento do PNC consta apenas um ofício, assinado pelo Ministro do Meio Ambiente, e endereçado a Casa Civil, que denominada a Marinha do Brasil como “Coordenadora Operacional” do evento. Isto ocorreu após 41 dias do surgimento das primeiras manchas na costa do nordeste (Época Negócios. Disponível em: https://epocanegocios.globo.com/Brasil/noticia/2019/10/salles-acionou-plano-de-contingencia-no-nordeste-41-dias-apos-desastre-diz-documento.html, acesso em 06/07/2020 às 23h20). A designação do coordenador operacional consta no parágrafo único do artigo 17 desta legislação, onde o Grupo de Acompanhamento e Controle define a significância do incidente, em nacional ou não, através de critérios, que podem atuar de forma conjunta ou não. Em específico a este artigo, destacam-se os incisos:

- II – volume descarregado e que ainda pode vir a ser descarregado;
- III - poluição ou ameaça significativa a corpos d'água e outros recursos naturais importantes quanto aos seus usos identificados ou à saúde pública, economia e propriedades;
- IV - sensibilidade ambiental da área afetada ou em risco; e
- VIII - poluidor não identificado, em áreas não cobertas por Planos de Área.

Desde o início do aparecimento destas manchas de petróleo emulsificado não era conhecido o poluidor ou o potencial de descarga do evento. Até o presente momento também não foi apurado com

total certeza o(s) ponto(s) de descarga de petróleo no mar. A costa do nordeste brasileiro é conhecida mundialmente por sua extensão de praia de água mais quente e destino turístico de famílias brasileiras e estrangeiras. A presença de óleo na costa fez o turismo na região recuar, como também o consumo de pescado, já que a ingestão de produtos e subprodutos de petróleo pela cadeia trófica podem gerar problemas a saúde humana. Ainda é prematuro para se determinar com exatidão a magnitude deste impacto, mas este já contem efeitos sabidos e amplamente estudados por comunidades científicas. As áreas afetadas também compreendiam áreas de manguezais, considerados berçários de vida marinha e zonas de proteção e alimentação de diversos animais. Também foi relatada a preocupação da chegada das manchas até o Arquipélago de Abrolhos, no sul da Bahia, que contém os bancos de corais com maior diversidade de todo o Atlântico Sul, e que é uma área de proteção integral já que é um Parque Nacional Marinho. Por fim, não havia (ou não há) um poluidor identificado para auxiliar nas respostas e compensar os dados. Estes incisos poderiam ser o estímulo para a deflagração do Plano Nacional de Contingência com sua plena atuação.

Os danos ambientais causados a fauna e flora das regiões serão repercutidos por vários anos, sem haver a concreta certeza de suas extensões. O IBAMA menciona em seus meios de comunicação pela rede mundial de computadores, a data de desmobilização (20 de março de 2020) dos integrantes do Grupo de Acompanhamento e Avaliação (IBAMA. Página Institucional. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/manchasdeoleo#desmobilizacao, acesso em 10/06/2020 às 17h30). Contudo, o órgão não indica uma data clara do acionamento do PNC ou divulga a estrutura de com suas respectivas funções ou reuniões produzidas para tratar do tema. O órgão menciona, nesta mesma fonte de informação supracitada, que por não se ter o conhecimento sobre o poluidor foi requisitada a Petrobras recursos técnicos e logísticos para o atendimento a emergência. Destaca-se que, ao se utilizar recursos destinados e dimensionados as operações da empresa nestas localidades, em caso de emergência da própria, o atendimento frente a esta nova resposta seria ineficiente e/ou inadequado, visto que os recursos foram empregados para atender a frente das manchas de origem desconhecida, por determinação do IBAMA, e não estariam em número suficientes para atendimento aos cenários apresentados nos planos de emergência da empresa.

5. CONCLUSÃO

Pelo exposto, fica explícita a não aplicação do que preconiza o Decreto nº 8.127, de 22 de outubro de 2013 de forma ativa e produtiva. A indicação posterior a 40 dias do início do aparecimento das manchas do Coordenador Operacional e o acionamento efetivo de todos os participantes e utilização de um sistema de comando validado e reconhecido por outras nações e pelos próprios órgãos

pertencentes ao Grupo de Acompanhamento e Avaliação deixaram evidentes a ineptidão frente a uma emergência que desestabilizou atividades econômicas relevantes para a região mais atingida e que deverá permanecer em constante monitoramento de parâmetros ambientais, a fim de se garantir condições seguras uso dos recursos disponíveis e explorados na região, como o pescado, por exemplo.

O próprio Decreto preconiza a elaboração de um manual, que seria o documento técnico com procedimentos operacionais, árvores de decisão e outras designações práticas para uma rápida e efetiva atuação. O manual seria a forma de se tornar vivo o decreto e todas as outras normativas vinculadas a ele. Porém, este manual não foi estabelecido e as ações tomadas não tiveram o devido norteamento para uma atuação mais metodizada pelos gestores responsáveis pelo atendimento a esta emergência.

Vale lembrar que este manual deveria ser publicado em, no máximo, um ano após a do decreto. De posse das orientações práticas constantes neste documento, outras ações de cunho operacional poderiam ter sido vislumbradas através da realização de simulados, o que resultaria em uma análise do próprio documento e da atuação de cada integrante convocado a participar do evento. Com a preparação de respostas a emergência simuladas para quando da ocorrência de um evento real, os gestores do incidente otimizariam tempo e aplicariam recursos de melhor forma.

Com isto, a população brasileira não obteve os mecanismos para afirmar sobre a efetividade ou não do Plano Nacional de Contingência, criado em 2013, para atender poluições significativas por óleo em abrangência nacional. Permanece a dúvida sobre sua aplicabilidade e diligência, assim como o preparo e agilidade dos órgãos responsáveis por sua execução.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BADER, M. S. H. Seawater versus produced water in oil-fields water injection operations. **Desalination**, v. 208, n. 1–3, p. 159–168, abr. 2007.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 393 de 8 de agosto 2007. Dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 de agosto de 2007.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 398, de 11 de junho de 2008. Dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional, originados em portos organizados, instalações portuárias, terminais, dutos, sondas terrestres, plataformas e suas instalações de apoio, refinarias, estaleiros,

marinas, clubes náuticos e instalações similares, e orienta a sua elaboração. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 111, p. 101-104, 12 jun. 2008.

BRASIL. Decreto nº 2.870, de 10 de dezembro de 1998. Promulga a Convenção Internacional sobre Preparo, Resposta e Cooperação em Caso de Poluição por Óleo, assinada em Londres, em 30 de novembro de 1990. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 238-E, p. 2, 11 dez. 1998.

BRASIL. Decreto nº 79.437, de 28 de março de 1977. Promulga a Convenção Internacional sobre Responsabilidade Civil em Danos Causados por Poluição por óleo, 1969. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 003603, 29 mar. 1977.

BRASIL. Decreto nº 8.127, de 22 de outubro de 2013. INSTITUI O PLANO NACIONAL DE CONTINGÊNCIA PARA INCIDENTES DE POLUIÇÃO POR ÓLEO EM ÁGUAS SOB JURISDIÇÃO NACIONAL. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 206, p. 4-8, 23 out. 2013.

BRASIL. Lei nº 8.617, de 4 de janeiro de 1993. Dispõe sobre o mar territorial, a zona contígua, a zona econômica exclusiva e a plataforma continental brasileiros, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 131, n. 2, p. 57-58, 5 jan. 1993.

BRASIL. Lei nº 9.966, de 28 de abril de 2000. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 138, n. 82, p. 1-4, 29 abr. 2000.

CCA-IMO. Página Institucional. MARPOL 73/78 – Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios, 1973, modificada pelo Protocolo de 1978, 2020. Disponível em: https://www.ccaimo.mar.mil.br/marpol, acesso em 06 jun. 2020.

Congresso Americano. Oil Pollution Act, 1990. Disponível em: https://www.congress.gov/bill/101st-congress/house-bill/1465/text, acesso em 06 jun. 2020.

FEMA. Página institucional. Disponível em: https://training.fema.gov/emiweb/is/icsresource/, acesso em 10 jun. 2020.

GRAGNANI, Juliana. O plano para conter derrames de petróleo que não foi acionado pelo governo federal para o Nordeste. **BBC Brasil**, 2019. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/brasil-50104828, acesso em 10 jun. 2020.

HECK, M. A ação normativa da organização marítima internacional e seus instrumentos em face da poluição marítima por óleo causada por navios. **Revista de Direito Internacional**, v. 9, n. 3, p. 27, 2012.

IBAMA. Página Institucional. Disponível em: http://www.ibama.gov.br/manchasdeoleo#desmobilizacao, acesso em 10 jun. 2020.

IBAMA. Página institucional. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/acesso-a-informacao/documentos-oficiais/plano-diretor-de-tecnologia-da-informacao-e-comunicacoes-pdtic-ibama-2020-2023/2020_05_25_ibama_pdtic.pdf/view, acesso em 10 jun. 2020.

ITOPF. Página institucional. Disponível em https://www.itopf.org/fileadmin/data/Documents/Company_Lit/Technical_Services_Brochure_2019_Portuguese.pdf, acesso em 09 jun. 2020.

Marinha do Brasil. Página institucional. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/manchasdeoleo/sobre, acesso em 10 jun. 2020.

MARTINS, R. O direito marítimo e a questão ambiental: análise acerca dos princípios da precaução e do poluidor pagador como instrumentos de efetividade jurídica no combate à poluição do meio ambiente marinho. **Revista Aurora**, v. 8, n. 1, p. 14, 2014.

MAZZA et al., Luigi. Sobre o óleo derramado. **Revista Piauí**, 2019. Disponível em: https://piaui.folha.uol.com.br/sobre-o-oleo-derramado, acesso em 10 jun. 2020.

MOTTA, A. R. P. DA et al. Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 15–26, mar. 2013.

OLIVEIRA, Elida. Navio grego suspeito no caso das manchas no Nordeste carregou 1 milhão de barris de petróleo na Venezuela. **G1**, 2019. Disponível em: https://g1.globo.com/natureza/desastre-ambiental-petroleo-praias/noticia/2019/11/01/navio-grego-suspeito-no-caso-das-manchas-no-nordeste-carregou-1-milhao-de-barris-de-petroleo-na-venezuela.ghtml, acesso em 10 jun. 2020.

Salles acionou plano de contingência no Nordeste 41 dias após desastre, diz documento. **Época Negócios**, 2019. Disponível em: https://epocanegocios.globo.com/Brasil/noticia/2019/10/salles-acionou-plano-de-contingencia-no-nordeste-41-dias-apos-desastre-diz-documento.html, acesso em 06 jun. 2020.

ARTIGO CIENTÍFICO 4

APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP NA PRIORIZAÇÃO DE ENVIO DE RECURSOS PARA PESQUISA DE ALVOS SUSPEITOS DE CONTER MATERIAL PETROGÊNICO NA SUPERFÍCIE DO MAR

APPLICATION OF THE AHP METHOD IN THE PRIORITIZATION OF SUBMISSION OF RESOURCES TO RESEARCH TARGETS SUSPECTED OF CONTAINING PETROGENCIUM MATERIAL ON THE SEA SURFACE

Juliana Fernandes Moreira - IFFluminense/PPEA
Marcos Antônio Cruz Moreira - IFFluminense/PPEA
Augusto Eduardo Miranda Pinto - IFFluminense/PPEA

RESUMO

A atividade de exploração e produção de petróleo na zona paralela a costa do Estado do Rio de Janeiro apresenta relevante importância para a sua economia. Com a utilização de monitoramento orbital e aquisição de imagens da área de forma constante, criou-se um banco de dados de imagens onde feições/alvos podem ser interpretados e classificados como suspeitos de conter material petrogênico. As características destas feições/alvos proporcionaram a análise de variáveis que indicassem uma maior probabilidade de identificação deste tipo de material. Este trabalho demostra a exploração destes dados, por estatística descritiva e aplicação da Regressão Logística Binária, como também a aplicação do método *Analytic Hierarchy Process* – AHP – para priorização do envio de recursos (embarcações e/ou aeronaves), para feições/alvos, o que confirmou bons resultados. Esta priorização possibilita, no caso de identificação positiva de material petrogênico, ações para minimizar impactos ambientais negativos no ambiente marinho de forma mais célere.

Palavras chave: AHP. ÓLEO. REGRESSÃO LOGÍSTICA. SAR.

ABSTRACT

The activity of exploration and production of oil in the area parallel to the coast of the State of Rio de Janeiro is of relevant importance for its economy. Using constant orbital monitoring and image acquisition of the area, an image database was created where features/targets can be interpreted and

classified as suspected of containing petrogenic material. The characteristics of these features/targets provided the analysis of variables that indicated a greater probability of identifying this type of material. This work demonstrates the exploration of these data, by descriptive statistics and application of Binary Logistic Regression, as well as the application of the Analytic Hierarchy Process – AHP – method for prioritizing the sending of resources (vessels and/or aircraft), for features/targets, the which confirmed good results. This prioritization allows, in the case of positive identification of petrogenic material, actions to minimize negative environmental impacts on the marine environment more quickly.

Keywords: *AHP. LOGISTICAL REGRESSION. OIL. SAR.*

1. INTRODUÇÃO

Desde o final da última década do século passado diversos satélites de observação que operam na faixa de micro-ondas foram lançados para obtenção de imagens e estudo do planeta Terra (Fingas e Brown, 2014). Estes possuem a capacidade de capturar imagens em qualquer período – diurno ou noturno – e não sofrer com a interferência de nuvens, como ocorre com sensores ópticos. Satélites que operam com radares de abertura sintética (SAR - *Synthetic Aperture Radar*) são importantes ferramentas de observação e identificação de eventos causadores de danos ambientais, como no caso de poluição causada por hidrocarbonetos de petróleo e seus derivados (Alpers et al., 2017).

Devido ao grande número de satélites transportadores de tecnologia SAR, incluindo alguns com disponibilização de imagens gratuitas, como o satélite Sentinel-1, lançado pela Agência Espacial Europeia (ESA. Página institucional. Disponível em: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1, acesso 13 set. 2021), este tipo de monitoramento é de grande extensão, com boas frequências de revisita e promovem uma identificação dos ambientes de forma a registrar anomalias nestes.

Com intensa atividade de exploração e produção de petróleo e gás, a área geográfica da bacia de Campos é particularmente povoada de plataformas de petróleo e tráfego de embarcações para suprir as demandas destas unidades marítimas (Petrobrás. Página institucional. Disponível em: https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/5-coisas-que-voce-precisa-saber-sobre-a-renovacao-da-bacia-de-campos.htm, acesso 13 set. 2021). Além disto, detém boa infraestrutura submarina para o escoamento de petróleo do mar para terra.

Por este motivo, a área abrangida pela área geográfica da bacia de Campos foi selecionada para observação e monitoramento de possíveis feições/alvos com substâncias petrogênicas, já que a probabilidade de ocorrência de eventos adversos nestas operações, com prejuízos socioambientais, é maior do que em áreas com menor atuação desta indústria.

De posse destas imagens orbitais e suas interpretações, onde é possível se identificar feições/alvos que poderão ou não conter substâncias petrogênicas – já que o monitoramento orbital e sua interpretação não são capazes de garantir se determinada feição/alvo contém ou não hidrocarbonetos de petróleo em sua composição – é necessário o envio de recursos (embarcações e/ou aeronaves) para a verificação no local e/ou provável local de deslocamento destes. A identificação de uma feição/alvo caracterizada como substância portadora material petrogênico somente poderá ser concluído, por um recurso capaz de visualizar e constatar características como sua coloração, odor, espessura e espalhamento.

A problemática para a atividade de identificação no local, ou provável local, é referente a disponibilidade do recurso a ser utilizado para tal tarefa. Este nem sempre está próximo ou mesmo disponível. Outra dificuldade no processo é haver uma quantidade maior de feições/alvos a serem investigados do que recursos disponíveis para atendimento (Ferraro et al., 2007).

A necessidade de identificação de qual feição/alvo tem maior prioridade do que outras é premente neste processo de decisão. O responsável por estas buscas acaba por ter de eleger qual será pesquisada inicialmente, baseando-se em sua experiência, características das feições/alvos e alguma informação pretérita, caso a tenha recebido. Este processo de decisão é subjetivo e poderá ser tendencioso.

A fim de auxiliar no processo de tomada de decisão e contribuir com a melhoria na priorização de envio de recursos, baseado nas características que levam feições/alvos, identificados por imagens orbitais, a possuir substâncias petrogênicas, esta pesquisa efetuou o levantamento de características observadas durante o período amostral de doze meses – julho/2018 a junho 2019 – a fim de determinar quais destas possuem relevância nesta identificação. Para isto, aplicaram-se procedimentos estatísticos, como análises descritivas e também Regressão Logística Binária.

O entendimento de quais destas características são preponderantes para tomada de decisão são o cerne para o propósito desta pesquisa. De posse destes resultados, o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), desenvolvida por Thomas L. Saaty, foi selecionado para auxiliar neste processo decisório. Ele executa a estruturação de um problema de decisão em hierarquias e atribui aos seus critérios de decisão pesos numéricos, porém estabelecidos por um ou mais decisores, o que não exclui a participação humana do processo. Os critérios serão analisados em importância par a par. Com estes

julgamentos são elencadas as alternativas mais aderentes ao problema de decisão, em ordem de prioridade (Saaty e Vargas, 2001).

A utilização desta metodologia não anula a subjetividade do processo, mesmo porque há fatos ou informações pregressas conhecidas pelo decisor, que podem influenciar em suas deliberações, mesmo após os resultados ordenados. Contudo, visa estabelecer uma rotina mais pautada em encadeamento de análises de dados para otimizar a seleção de feições/alvos com maior probabilidade de identificação de material petrogênico.

O monitoramento ambiental constante, acrescido de um eficaz sistema de recursos para identificação de hidrocarbonetos de petróleo na superfície do mar formam um importante conjunto em benefício da qualidade ambiental do ambiente marinho, seja para a identificação de eventos rotineiros, considerados de baixo grau de impacto ambiental negativo, como aqueles de maior relevância de impacto negativo, sejam estes ambientais e/ou sociais, como ocorre no derramamento de petróleo no mar.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Método AHP – *Analytic Hierarchy Process* – e suas aplicações

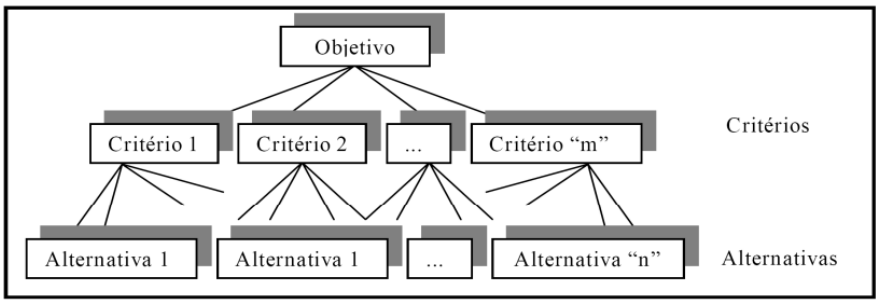
Para lidar com inúmeros problemas cotidianos, os seres humanos geram modelos de decisão, através da observação, quantificação e julgamentos (Ozdemir e Saaty, 2006). As decisões a serem tomadas podem ser simples ou complexas, mas acabam por consumir dos envolvidos um intervalo de tempo para fazê-lo. Uma das premissas da decisão é que os indivíduos são capazes de determinar de forma clara suas preferências e são racionais (Gomes e Gomes, 2019). Este processo busca identificar as melhores avaliações em relação as expectativas do(s) decisor(es), entre as alternativas que possui (Marins, 2009).

O Processo de Análise Hierárquica, *Analytic Hierarchy Process* – AHP – é um método de suporte para tomada de decisão que mescla o uso de matemática e psicologia, a fim de selecionar a melhor alternativas dentre vários critérios (Saaty e Vargas, 2001). Este método foi elaborado em meados de 1970 pelo professor Thomas L. Saaty, que descreveu que um problema de decisão poderá ser particionado em níveis hierárquicos, para seu melhor entendimento (Gomes, Gomes, 2019). O método gera um valor global para cada uma das alternativas, classificando-as como a de maior interesse para atender ao objetivo/ problema.

Sua execução é composta pela divisão do problema em três estruturas principais que auxiliam o(s) decisor(es) a identificar uma solução que melhor se adequada as suas condições e expectativas. O

problema em si, ou a decisão a ser tomada é o objetivo principal a ser alcançado. Este é o evento topo. O segundo nível está baseado na seleção de critérios e intensidades, onde cada qual apresenta alternativas – sendo estas o último nível. Esta decomposição auxilia o decisor a entender e melhor decidir, sob determinados parâmetros, isto porque permite uma visão ampliada do problema e qual a dinâmica inerente aos julgamentos para auxiliar na resolução do mesmo (Saaty e Vargas, 2001). Esta descrição é aplicada ao método AHP tradicional. Para um grande número de alternativas, a fim de ser reduzir a quantidades de comparações par a par a aplicação do "*rating method*" é mais amigável e retorna resultados satisfatórios (Saaty, 2008).

Figura 10: Hierarquia do método AHP



Fonte: Marins (2009)

Após o delineamento da hierarquia, a importância dos critérios é atribuída por pesos, que são as prioridades. Estas servem para diferenciar a importância de cada uma em relação a outra. Este procedimento é efetuado de forma par a par.

Para realizar estas comparações, que devem ocorrer de forma consistente – sem incoerências, Saaty propôs a utilização de uma escala. Esta é denominada de Escala Fundamental. O Quadro 01 demostra a Escala Fundamental para auxílio a tomada de decisão.

Quadro 1: Escala Fundamental

Escala numérica	Escala Verbal	Explicação
1	Ambos os elementos são de igual importância	Ambos os elementos contribuem com a propriedade de igual forma
3	Moderada importância de um elemento sobre o outro	A experiência e a opinião favorecem um elemento sobre o outro
5	Forte importância de um elemento sobre o outro	Um elemento é fortemente favorecido
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro	Um elemento é muito fortemente favorecido sobre o outro
9	Extrema importância de um elemento sobre o outro	Um elemento é favorecido pelo menos com uma ordem de magnitude de diferença
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre as opiniões adjacentes	Usados como valores de consenso entre as opiniões
Incremento 0.1	Valores intermediários na graduação mais fina de 0.1	Usados para graduações mais finas das opiniões
Fonte: Saaty e Vargas, 2001		

A quantidade de julgamentos necessários para a construção da matriz de comparações é dada por n (n-1)/2, onde n é o número de elementos que compõe esta matriz. Nesta etapa do processo, é aplicada a normalização das matrizes de comparação, através da soma de todos os valores de cada coluna e a divisão de cada valor (linha) por esta soma; posteriormente é executado o somatório por cada linha normalizada e dividido pelo número de elementos na linha. Desta forma, obtém-se o vetor prioridades para cada critério dentro do processo de decisão (Saaty e Vargas, 2001).

Após esta etapa é necessário avaliar a consistência lógica dos julgamentos realizados através do cálculo da Razão de Consistência (RC), onde, para os julgamentos das matrizes serem aceitos, é necessário que este valor seja menor que do 0,10, isto porque o método entende que até 10% de inconsistência nos julgamento são aceitáveis e as alterações de julgamentos não serão suficientes para proporcionar alguma mudança significativa de valores para atendimento ao objetivo principal (Saaty e Vargas, 2001). Caso este valor seja ultrapassado, os decisores deverão rever suas comparações, para que não haja incoerências nos valores atribuídos as decisões (Ellwanger et al., 2013).

A Razão de Consistência (RC) é dada pela divisão do Índice de Consistência (IC) pelo Índice Aleatório, sendo este já definido a partir da ordem da matriz (Saaty e Vargas, 2001). O Índice de Consistência é calculado pela fórmula abaixo:

$$IC = \frac{(\lambda \max - n)}{(n-1)}$$

Para o cálculo do λ_{max}, sendo n é a ordem da matriz, logo conhecido, será necessário ter de posse a matriz de comparações e suas prioridades calculadas para cada critério. O valor de λ_{max} deverá ser maior ou igual a n para que a matriz seja considerada consistente (Saaty e Vargas, 2001).

O cálculo de λ_{max} pode ser descrito da seguinte forma:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n * \Sigma\ (\text{critério matriz consistência}/peso\ do\ critério)}$$

O Índice Aleatório é fornecido por Saaty e Vargas (2001). O valor de n faz menção a ordem da matriz.

Tabela 2: Índice Aleatório

Índice Aleatório										
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Fonte: Saaty e Vargas, 2001

De posse destes valores é possível se calcular a Razão de Consistência requerida. Este cálculo visa identificar a consistência da matriz apenas.

De posse das prioridades globais é que será possível elencar a ordem de prioridades para se alcançar o objetivo que desencadeou a demanda da análise hierárquica.

Com a utilização do método AHP com *ratings* é possível se aplicar intensidades/categorias aos critérios utilizados na hierarquização do problema. A medição é feita de forma absoluta, diferente do método AHP tradicional – que se utiliza de medição relativa e ao término da hierarquia há as alternativas para decisão. No método AHP com *ratings* a avaliação é executada a partir das intensidades atribuídas a cada critério ou subcritério, ao invés de ser executada par a par. Também é requerido que o vetor prioridade sejam idealizados, isto é, para a categoria com valor mais elevado é atribuído o valor "1" e as demais categorias terão seus valores divididos por este. Desta forma, as prioridades globais das alternativas são visualizadas, através da soma dos valores provenientes da multiplicação das prioridades de cada intensidade/ categoria e as prioridades globais dos critérios ou subcritérios (Saaty, 2006 e 2008).

Para a execução desta pesquisa foi aplicado o método AHP com *ratings*. A escolha deste método em específico foi a possibilidade de lidar com um volume maior de alternativas que o decisor deveria avaliar, já que em uma imagem orbital poderá ocorrer inúmeras feições/alvos propostos como suspeitos

e necessária a avaliação, bem como atribuir rótulos as intensidades que serão identificadas durante os processos de interpretação das imagens e de decisão de envio de recursos (Saaty e Vargas, 2001; Saaty, 2006).

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. Material

Para a realização desta pesquisa, analisaram-se imagens orbitais cuja trajetória percorreu parte da área paralela a costa do Estado do Rio de Janeiro e sul da área do Estado do Espírito Santo. O interesse por esta localidade para a coleta e a análise dos dados se deve a intensa presença de atividade de exploração, produção e escoamento de petróleo, bem como as atividades de logística de suprimentos de plataformas e seus equivalentes, que mantém esta atividade comercial de relevante interesse no Estado do Rio de Janeiro (Salles, CNNBrasil. Disponível em: https://www.cnnbrasil.com.br/business/estado-do-rio-deve-receber-r-50-bi-em-3-anos-para-setor-de-petroleo-diz-firjan/, acesso em 16 set. 2021).

De posse da interpretação destas imagens e a classificação de cada feição identificada foram tabeladas informações que pudessem indicar que, as características individuais ou combinadas, contribuíssem para a identificação positiva de substância petrogênica na superfície do mar. Estes dados contemplavam a morfologia da feição, sua dimensão (comprimento em milhas náuticas – mn), intensidade do vento (durante o horário de aquisição da imagem em m/s), o contraste que esta feição apresentava, em relação ao seu entorno, e o tempo de chegada do recurso que realizou a pesquisa/ busca. Além destes dados foi registrada a resposta a esta averiguação no local ou provável local – deriva da feição. Respostas positivas quando ocorre a identificação de óleo ou substância oleosa na superfície do mar, ou respostas negativas quando estes não são identificados. Desta forma, não há a possibilidade de uma mesma feição se enquadrar em ambas as respostas. As respostas às buscas terão um valor dicotômico.

O espaço amostral de coleta e análise destas feições/alvos compreenderam o período de julho de 2018 a junho de 2019. Este período, de doze meses, foi determinado por englobar os períodos de inverno e verão, que promovem maior ou menor agitação do mar, como a entrada de frentes frias, por exemplo, e também de variações de intensidade de vento, ou seja, seria o período capaz de abranger as variações meteorológicas e oceanográficas possivelmente relevantes para permitir a identificação de uma feição – pela ausência do retorno do sinal ao radar orbital SAR - *Synthetic Aperture Radar*.

Para a análise dos dados utilizou-se o *software* estatístico livre R, o *software* Microsoft Excel® e o *software* livre *SuperDecisions*. O primeiro foi utilizado para avalições estatísticas das variáveis identificadas na pesquisa, o segundo e terceiro com o intuito de facilitar a utilização final do operador que terá a incumbência de enviar o recurso para averiguação o local ou provável local.

3.2. Método

O projeto desenvolvido baseou-se em uma pesquisa exploratória descritiva e estatística. No que tange a pesquisa exploratória descritiva, o trabalho buscou o entendimento da dinâmica das variáveis analisadas e sua importância para os resultados finais, a fim de empregar os recursos da maneira mais proveitosa, ou seja, que tenha efeito na alocação do recurso para cada feição, com a expectativa de minimizar possíveis impactos negativos com a presença de material petrogênico na superfície do mar.

Com os dados tabelados, tornou-se possível realizar estas avaliações para averiguar se há características preditoras em um evento – feição/alvo – capazes de determinar uma maior probabilidade de ocorrência de respostas positivas – identificação de presença de óleo ou substância oleosa na superfície do mar.

Uma etapa importante do trabalho, a partir desta coleta de dados, é a análise descritiva dos mesmos. É relevante se identificar quais são as variáveis, suas classificações, seu comportamento e interpretar a sua dinâmica.

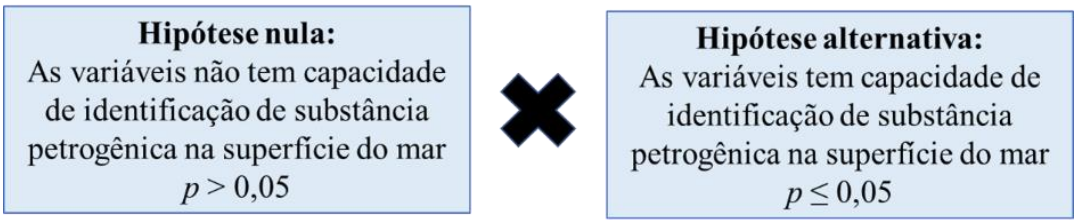
Como a resposta às buscas é uma variável dicotômica e é classificada como dependente de outras variáveis, isto é, é o resultado do conjunto de variáveis observados – forma (formato) que a feição apresenta, sua dimensão, seu contraste, o vento na hora da aquisição da imagem e o tempo transcorrido entre a aquisição da imagem e a chegada no recurso ao provável local da feição/alvo, optou-se por realizar a avalição estatística executada pela Regressão Logística Binária, após a análise estatística descritiva inicial. Essa tem como prerrogativa a existência de uma variável dependente dicotômica, onde as respostas as buscas podem ser apenas “sim” ou “não”, sendo mutuamente excludentes e categórica (Field, 2009).

A utilização da Regressão Logística Binária foi para a identificação de variáveis preditoras, com a avaliação de modelos capazes de melhor representar a aplicação destas variáveis.

Para isto, foram descritos dois modelos diferentes. O primeiro contém todas as variáveis, representadas pelos dados coletados e tabelados, e o segundo modelo apenas com as variáveis preditoras possuidoras de valores de p significativos. O nível de significância foi estabelecido em 05% ($\alpha = 0{,}05$).

O teste de hipótese aplicado possui a formulação de duas hipóteses, sendo a primeira de que não há capacidade das variáveis estudadas em identificar presença de substância petrogênica sobre a superfície do mar e, a segunda, de que existe esta capacidade e isto possibilita a identificação de substâncias petrogênicas sobre a superfície do mar. Logo, estas estão descritas conforme figura abaixo.

Figura 11: formulação do teste de hipóteses



Fonte: autora

O nível de significância para rejeição da hipótese nula será de 05% ($\alpha = 0,05$). Desta forma, os valores de p menores ou iguais a 0,05 indicam que a probabilidade de se identificar feição/alvo com características petrogênicas, sem que estas variáveis tivessem a capacidade de predizê-lo, é menor do que 05% (Field, 2009). O valor de p representa a probabilidade de se identificar substância petrogênica, dado que a hipótese nula é verdadeira, ou seja, os grupos são iguais – respostas as buscas. Caso o valor de $p > \alpha$, aceita-se a hipótese nula. Do contrário, $p \leq \alpha$, a hipótese nula é rejeitada (as variáveis têm capacidade de indicar a presença de feição/alvo com substância petrogênica na superfície do mar), conforme descrito no item 4.2. Regressão Logística Binária, deste trabalho.

Com estas informações, sobre quais variáveis preditoras são relevantes e sob quais condições as mesmas possuem uma maior probabilidade de respostas positivas, buscou-se uma metodologia capaz de priorizar o envio de recursos, o que permite direcionar os recursos para eventos que ofereçam maior risco ambiental – presença de substância petrogênica na superfície do mar. Para a priorização e ordenamento, a escolha do método AHP - *Analytic Hierarchy Process*, fez-se expressiva pela possibilidade de auxiliar um decisor a identificar uma feição com maior probabilidade de resposta positiva a presença de substância petrogênica e de forma priorizada, o que auxilia o processo de decisão, porque recomenda qual decisão está mais aderida aos pesos dos critérios indicados (Gomes e Gomes, 2019). Esta metodologia de análise multicritério é de fácil interpretação, o que também auxilia qualquer decisor a aderir ao seu uso, já que torna a avalição simples e rápida.

A seleção deste método, perante outros métodos de análise multicritério de apoio a tomada a decisão se deve a clareza com que o problema é estruturado e a atribuição de pesos a critérios selecionados pelo decisor para indicar qual é a melhor alternativa que se adequada a determinado problema, baseado nas possibilidades para sua solução. O interessante do método AHP não é indicar

uma resposta única e exclusiva, mas sim direcionar qual delas é a mais indicada para determinado problema. A utilização de um autovetor em uma matriz é considerada uma das técnicas mais sofisticadas de análise multicritério (Gomes e Gomes, 2021). A escolha do método AHP em detrimento a outros, se deve a criar mecanismos para minimizar a imprecisão das escolhas do decisor (Trindade, 2016) e a avaliação pretérita dos dados para identificar critérios de relevância a tomada de decisão. O método AHP, pela avaliação da razão de consistência das decisões tomadas, ameniza a possibilidade de inconsistências no processo decisório e não permite a incoerência de avaliações através da sua transitividade (Júnior e Rodrigues, 2012; Costa et al., 2010).

Outro ponto para aplicação de um método multicritério a ser avaliado é a aptidão dos decisores em conhecer o problema e os critérios que nortearão as decisões. Desta forma, a subjetividade do processo permanecerá, porém a relações de consistência serão mais robustas.

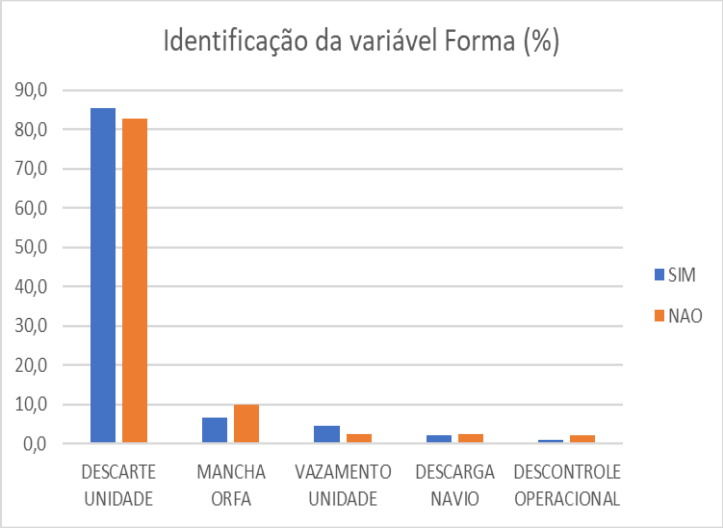
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise estatística descritiva

Com a coleta de dados, no intervalo de doze meses, pode-se observar alguns dados referentes as características das feições/alvos pesquisados. Aproximadamente 75% das feições/alvos identificados nas interpretações e pesquisados no local ou provável local (deriva da feição/alvo), resultaram em respostas negativas. Tanto para as feições/alvos que resultaram em respostas positivas, quanto aquelas com respostas negativas, o tipo de morfologia que predominou nas interpretações foram aquelas características de descartes de unidade.

Para ambos os casos, esta morfologia representou mais de 80% de observações. O fato deste grande número de feições com estas características pode ser atribuído ao quantitativo de instalações exploradoras produtoras de petróleo concentradas na área da bacia de Campos. Este foi um dos motivos para a escolha do local de análise. Também por este motivo, há a possibilidade de se identificar outras morfologias ligadas a este tipo de atividade, já que se espera a ocorrências de eventos anômalos também tenham maior probabilidade nestes locais. As feições características de mancha órfã representaram 6,7% das repostas positivas e 10% das respostas negativas. A morfologia referente a vazamento de unidade marítima foi mais ativa para as respostas positivas, com 4,5% e apenas 2,4% para as respostas negativas. As morfologias referentes a descarga de navio e descontrole operacional, somadas, em ambos os casos, não totalizaram 3,5% dos casos.

Figura 12: apresentação do gráfico com o quantitativo relativo da variável Forma



Fonte: autora

Com os dados acima descritos e analisados já é plausível considerar que, mesmo uma feição/alvo identificado através de monitoramento orbital com tecnologia SAR, não é necessariamente um evento poluidor, observando-se a existência de descartes de água produzida (Gomes, 2014), que, conforme legislação, podem apresentar teores de óleo e graxas com limites menores do que estabelecidos por legislação. Este trabalho, em específico, não buscou identificar uma correlação entre a identificação das feições/alvos nas imagens orbitais e os teores de óleos e graxas descartados nas águas produzidas.

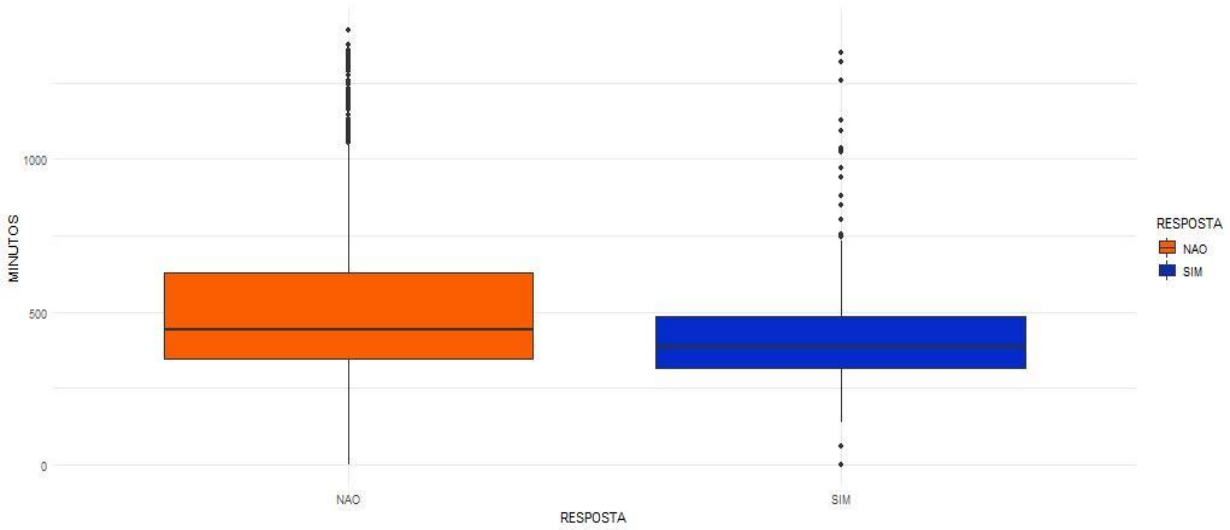
Outra variável coleta e analisada foi referente ao tempo de chegada do recurso, no provável local de existência da feição/alvo. A utilização do termo "provável" se justifica por se tratar de uma busca em um ambiente não estático. A dinâmica exercida pelas condições ambientais marinhas e também pelo processo de intemperização do próprio material petrogênico se atribuem ao processo de busca como fatores adversos, que interferem na localização e também na própria degradação do material (Alpers et al., 2017). Mesmo em situações em que são utilizados recursos como simulações de deriva de óleo, não são absolutos os seus resultados, visto que as simulações são modelos que recriam a realidade, porém com limitações.

O tempo de chegada do recurso no provável local foi medido a partir do horário de aquisição da imagem orbital, ou seja, o horário em que o satélite percorreu o local – executou a varredura – e registrou a imagem, até o horário de chegada do recurso no provável local de identificação da feição/alvo. Neste período de tempo, ocorre o processamento e a interpretação da imagem orbital. Esta última ação é que vai identificar possíveis feições/alvos para averiguação. Após o relato sobre a

possível feição/alvo é que recurso(s) é(são) enviado(s) para a(s) busca(s). O término desta contabilização de tempo se dá quando o recurso chega ao local requisitado. Com isto, é calculado o tempo total transcorrido. Este tempo (delta) é que foi avaliado.

As análises desta variável indicaram uma predominância de identificações de feições de origem petrogênica em até seis horas, a partir da aquisição da imagem até a chegada no recurso, em aproximadamente 41,2% para as respostas positivas as buscas e 29,6% para as negativas. Os percentuais referentes ao período de seis horas a oito horas representaram 32,6% e 29% para as repostas sim e não, respectivamente. Valores superiores a oito horas representaram 26,3% e aproximadamente 42,7%.

Figura 13: boxplot com a apresentação da variável Tempo para cada saída da variável Resposta



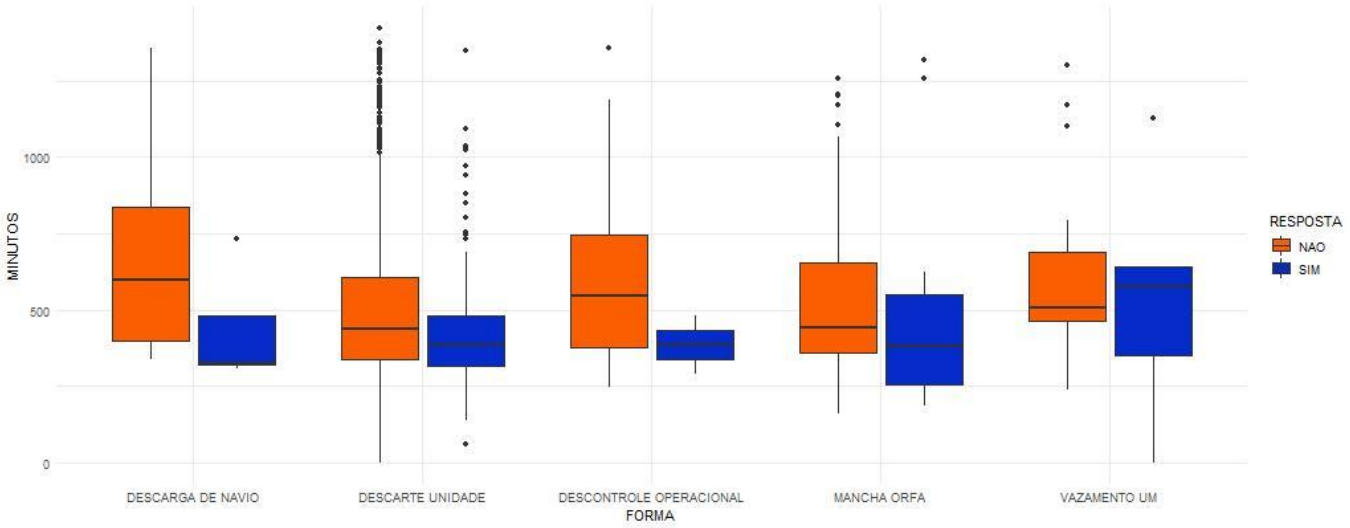
Fonte: autora

Com estes resultados é razoável inferir que, quanto maior o tempo transcorrido entre a aquisição e a chegada no local indicado para as buscas, menor é a expectativa de se identificar a presença de substância petrogênica sobre a superfície do mar. Isto pode ser justificado pelo próprio processo de intemperização do material petrogênico, onde menor for sua espessura ou volume sobre a superfície do mar, mais rápido é o seu processo de intemperização – evaporação, diluição e espalhamento (Alpers et al., 2017).

Pela figura 13 acima, é identificável que a mediana para ambas as respostas é muito próxima. Porém, para as respostas positivas o terceiro quadrante também se aproxima da mediana das respostas negativas. Esta análise se torna relevante quando da definição de critérios na seleção de prioridades de envio de recursos. Isto reforça que, quanto mais próximo o recurso da feição, aumenta a possibilidade de se identificar a presença de material petrogênico.

Outra forma de se avaliar a variável Tempo (Minutos) é identificar seu comportamento perante a variável Forma, a fim de distinguir se, em algum caso particular, o tempo para a chegada do recurso e a identificação de feição petrogênica pode ou não ter relação com a resposta as buscas. Abaixo, segue figura 14 contendo esta estratificação de tempo pela forma da feição/alvo.

Figura 14: boxplot com a apresentação da variável Tempo pela Forma em cada reposta as buscas



Fonte: autora

Através desta nova perspectiva, observa-se que, para todas as morfologias, os valores das medianas das respostas positivas situam-se abaixo daquelas negativas, com exceção da Forma "vazamento de unidade marítima". O que se infere sobre esta situação é que, para esta morfologia em específico, há presença de material petrogênico em maior quantidade do que nas demais. Logo, mesmo em períodos de tempo maiores, em comparação com as outras morfologias, a prevalência do material petrogênico na superfície do mar pode ser identificada pelo seu volume/ espessura – ou seja, presença de petróleo cru ou processado na superfície do mar.

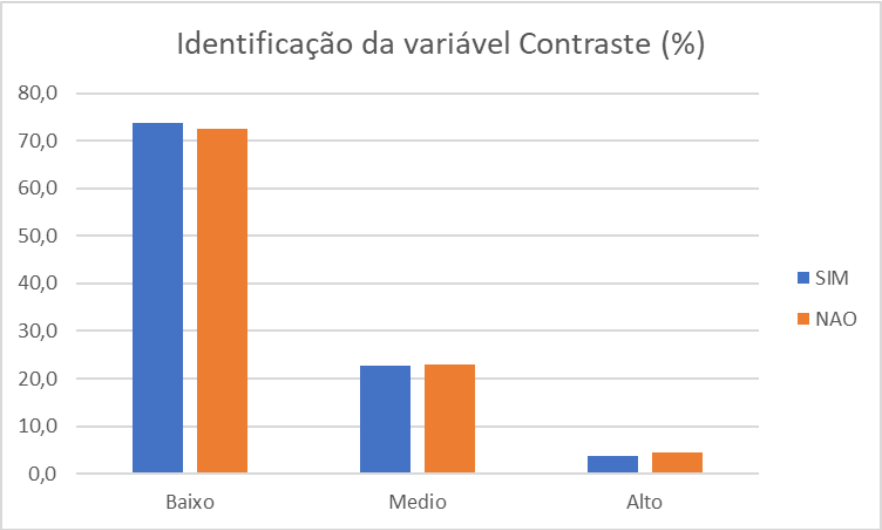
Por outro lado, a morfologia "descontrole operacional", onde também ocorrem lançamentos de material petrogênico no mar, caracterizada pela ocorrência de desenquadramento deste parâmetro de teores de óleos e graxas, conforme legislação específica – CONAMA 393/2007 – aparece de forma mais branda, onde a mediana deste elemento está situada praticamente no primeiro quartil das respostas negativas a este tipo de busca. Este fato pode ser suposto pelo restabelecimento das condições de normalidade da planta de processo, em que novamente o lançamento de efluentes é restabelecido conforme os parâmetros legais de descarte. A partir do retorno à normalidade do processo, ao chegar no local ou na área de pesquisa solicita, o recurso poderá não identificar a presença de óleo na superfície do mar.

Para a morfologia “descarte de unidade”, os valores das medianas de ambas as respostas são similares e há a presença de inúmeros *outliers*. Estes podem ser assumidos como feições que não foram priorizadas de imediato, sendo outras executadas primeiramente. Também pode-se entender que, em uma aquisição de imagem, a maior quantidade ou o todo destas feições/alvos foram representadas por esta morfologia. Desta forma, o recurso chega aos prováveis locais das feições em um tempo maior do que o esperado, sendo contabilizada a sua chegada, em relação ao horário da aquisição, em valores superiores, visto que algumas feições foram avaliadas primeiro do que outras, devido ao quantitativo de recursos disponível para busca.

Outra variável a ser analisada foi aquela referente ao contraste entre a feição/alvo e o entorno da mesma. Esta variável é classificada em três níveis pelo mecanismo de interpretação: baixo, médio e alto. Estes representam a diferença entre a intensidade do retorno do sinal ao receptor do satélite e o entorno da feição/alvo.

Este item demostrou que o quantitativo de feições/alvos cuja atribuição do valor identificado como “baixo” foi o mais elevado, sendo identificado para ambas as respostas: aproximadamente 74% para as respostas “sim” e 72% para as respostas “não”. Estes foram seguidos pela identificação do valor “médio”, com 23% para ambas as respostas. Já a identificação de feições/alvos cuja característica era “alto” foram de apenas 4%, aproximadamente.

Figura 15: gráfico com a apresentação da variável Contraste em cada reposta as buscas



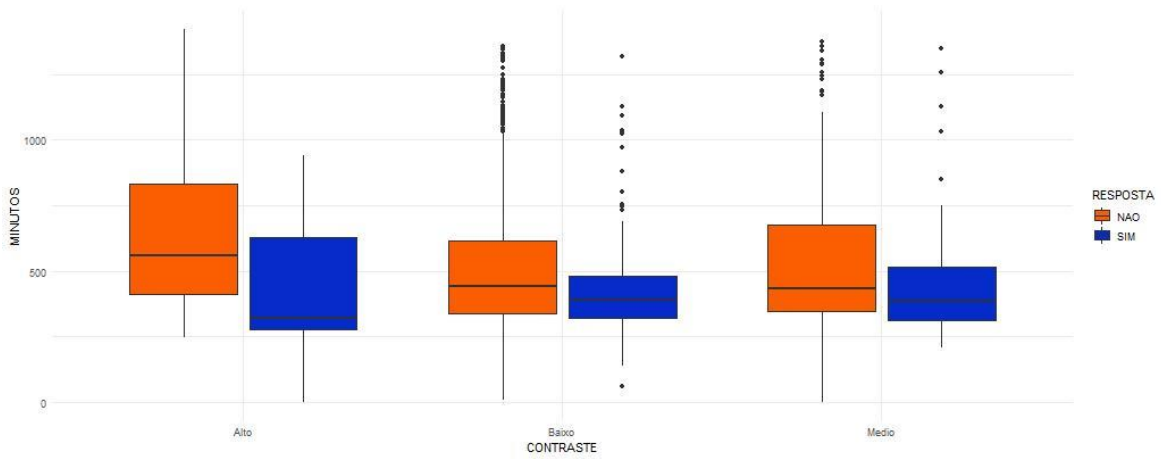
Fonte: autora

Entre as morfologias de feições e o contraste destas, para a variável Forma, aquela denominada “descarte de unidade”, é a de maior presença nas observações. Feições/alvos categorizados como “baixo” contraste representaram cerca de 85% para as respostas “sim” e 83% para as respostas “não”

em relação ao total de feições, ou seja, no quantitativo total de observações de feições/alvos em cada resultado de busca.

Uma observação a ser mencionada sobre esta variável em específico seria de se atribuir maiores valores de contraste “alto” para as morfologias “vazamento de unidade” e “descontrole operacional”, isto porque estas representam a presença real material petrogênico na superfície da água, sendo esperado uma concentração mais significativa em comparação com as outras. Contudo, este fato não foi observado para estas duas morfologias. Ambas apresentaram a categoria “baixo” como a predominante. A categoria “alto” não representou sequer 1,5% destes tipos de morfologia. Contudo, em uma avaliação inicial, observou-se que esta variável quando o resultado identificado foi categorizado como “alto”, conjugado com o tempo de chegada do recurso e a identificação positiva, os valores de tempo para a chegada do recurso e esta identificação de presença de feição oleosa foram os mais baixos entre as três respostas possíveis desta variável. Este evento pode ser justificado, porque, em decorrência de um maior contraste da feição/alvo, este foi priorizado em detrimento aos demais. Com isso, o recurso para busca foi premente direcionado ao provável local. Porém, a quantidade de feições/alvos classificados como contraste alto foram os menores entre as possibilidades, conforme a figura 16 demonstra.

Figura 16: bloxplot com a apresentação da variável Contraste e sua relação com a variável Tempo

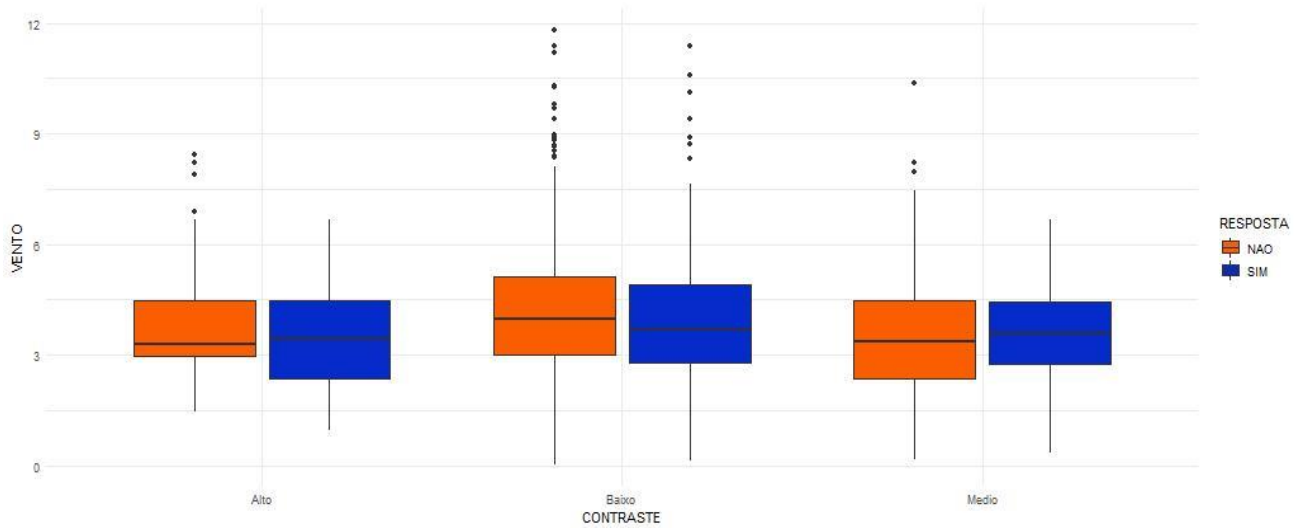


Fonte: autora

Também pode-se indagar se a variável Contraste possui alguma inclinação a variável Vento, já que este é um fator que se permite ou não a identificação da feição através da aquisição de imagens SAR. Logo, caso os valores de vento fossem mais elevados seria válido interpretar ocorrências destas medições em feições/alvos classificados como “médio” ou “baixo”, devido à ausência do retroespalhamento na área próxima a feição/alvo. Todavia, ao se analisar a figura 17, identifica-se a presença dos valores, principalmente do segundo e terceiros quartis muito próximos. O que gerou este

resultado foi a própria ocorrência de valores de vento na faixa ideal de imageamento e também o fato desta variável se apresentar bem concisa no período analisado neste projeto de pesquisa.

Figura 17: bloxplot com a apresentação da variável Contraste e sua relação com a variável Vento

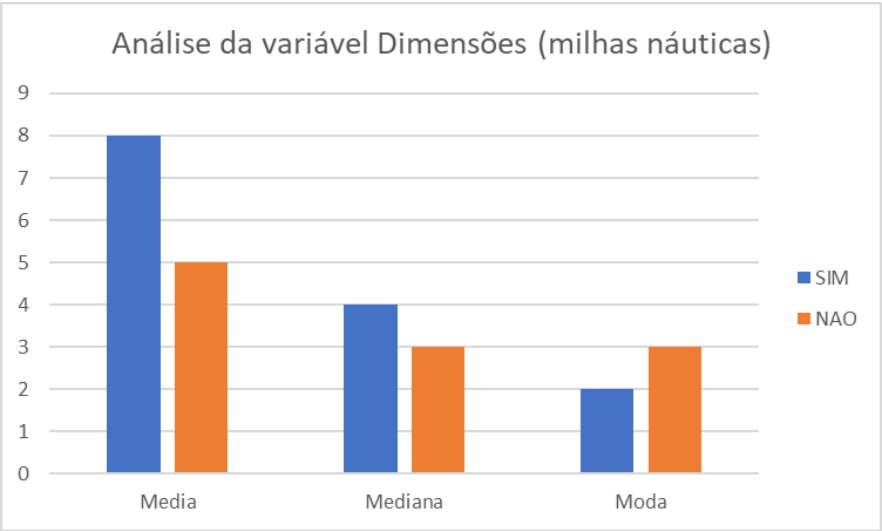


Fonte: autora

Com a análise destes dados é possível mencionar que, o nível atribuído à variável Contraste, atuando de forma isolada, não deve ser o fator primordial ou determinante para o direcionamento de recursos. Esta dedução pode ser acrescentada pela observação de que, ao se interpretar uma imagem orbital, a qualidade do imageamento poderá interferir na atribuição desta categoria. Isto está relacionado ao poder de resolução espacial do satélite transportador da tecnologia SAR e o ângulo de incidência do imageamento. Estes dois fatores não fizeram parte do levantamento deste projeto de pesquisa, porém são entendidos como importantes para futuras avaliações e identificação de relevância para estes e próximos resultados.

Outra variável estudada foi aquela referente as dimensões apresentadas pelas feições/alvos. Esta análise se baseou na observação de valores que pudessem identificar algum tipo de semelhança entre os resultados por respostas. Para as respostas “sim” foi constatada uma média de 5,3mn e mediana de 3,0mn, com um valor de moda de 2mn. Já para as respostas “não” observaram-se os números de média como 4,7mn e mediana de 3,4mn. A moda foi de 3mn.

Figura 18: gráfico com a apresentação da variável Dimensões



Fonte: autora

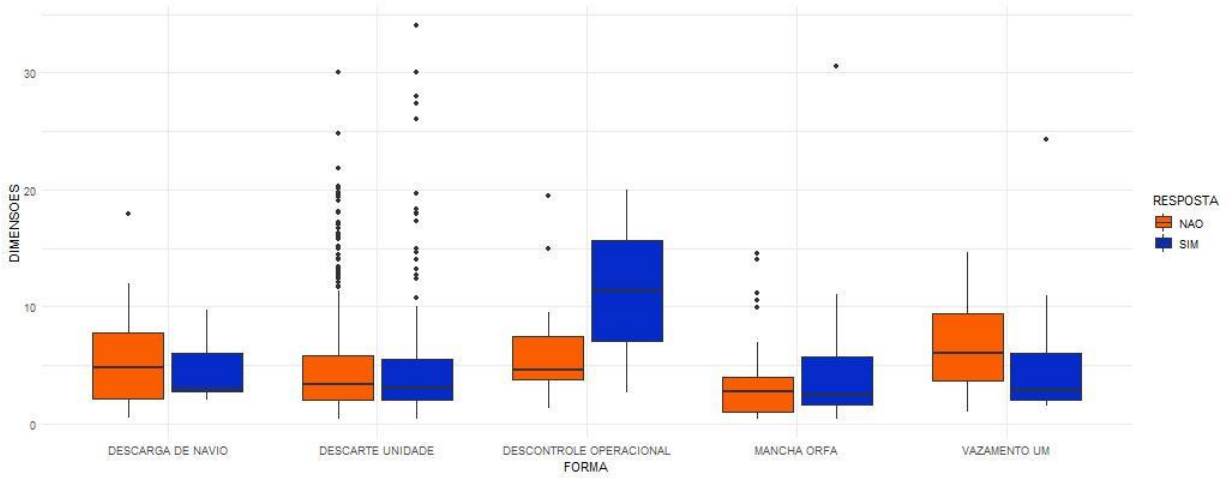
Esta variável – Dimensões – não representou grandes discrepâncias para as respostas as buscas. Os valores de mediana e moda foram muito similares, sendo a dedução de sua análise descritiva a observação de valores menores – para mediana e moda – nas respostas positivas. Os valores de média não foram considerados para a avalição pois possuíam uma distribuição não normal dos dados observados. Por estes motivos, seu peso na avaliação geral do problema foi minorado em relação às outras variáveis.

Ao se observar a atuação das variáveis Forma e Dimensões, conforme figura 19, é notório que os valores de tendência central, representados pelo segundo quartil – a mediana – estão próximos à dimensão equivalente a 5mn, sendo que aqueles enquadrados nas respostas positivas tendem a ser menores do que aqueles de resposta negativa, com exceção da categoria "descontrole de unidade". Este fato pode ser analisado pela própria morfologia da feição. Ao se identificar este tipo em específico, usualmente é identificado o descarte da unidade, onde é percebível uma seção mais robusta e/ou disforme. Sendo assim, o valor total da feição é maior do que um descarte de água produzida.

Estas avaliações sugerem que menores valores de dimensão possam indicar uma maior possibilidade de respostas positivas. Contudo, outras análises estatísticas, utilizando-se da Regressão Logística Binária também auxiliarão na definição de pesos para este critério em específico. Foram observados diversos *outliers*, com maior prevalência na categoria "descarte de unidade". Conforme mencionado anteriormente, esta categoria representa mais de 80% das feições identificadas nos imageamentos. Estas observações representam qualquer número real compreendido entre zero e o maior valor observado. Logo, a identificação de valores acima daqueles representados até o terceiro

quartil é plausível, porém não influenciará na tomada de decisão quanto a elaboração de critérios e pesos para priorização de buscas. É importante ressaltar que os dados foram avaliados para identificação de erros na entrada de dados, que poderiam resultar em valores inverídicos de observação. Não foram constatados tais erros nos dados analisados.

Figura 19: bloxplot com a apresentação da variável Dimensões e sua relação com a variável Forma

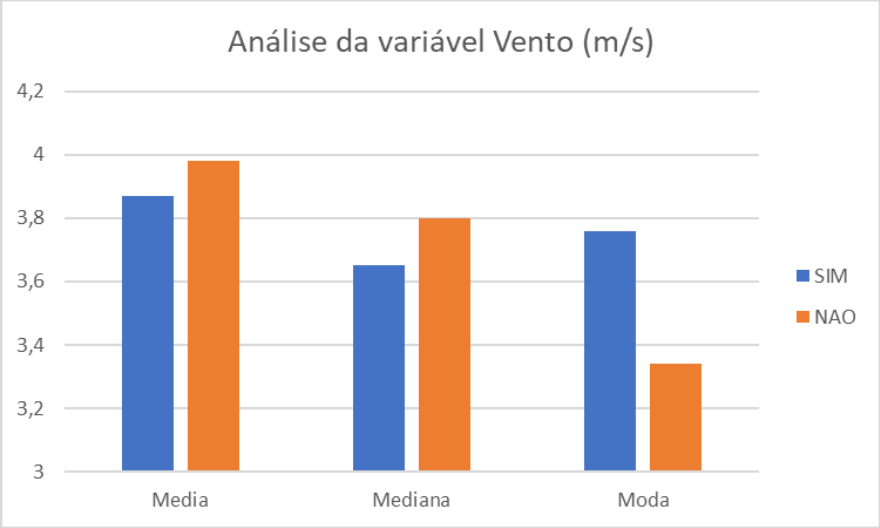


Fonte: autora

A variável Vento possui uma particularidade relevante em relação aos dados coletados. Esta variável irá interferir na possibilidade ou não de identificação de feição/alvo durante a aquisição da imagem (Fingas e Brown, 2014; Brekke e Solberg, 2005). Intensidade de ventos que estão compreendidos na faixa de 3,0m/s a 7m/s são ideais para registrar a atenuação das ondas capilares ou gravitacionais, que ocorrem na superfície quando algo é capaz de atenuá-las (Singha, 2014), o que permite uma superfície mais lisa e o não retorno do sinal ao satélite transportador do SAR. Petróleo e derivados são capazes de gerar este fenômeno. Logo, a existência de feições/alvos será registrada, possivelmente, nesta faixa. Em relação aos dados analisados, os valores da média e mediana para esta variável foram similares, sendo a média de 3,95m/s e a mediana de 3,76m/s – com a utilização tanto das respostas positivas como para as repostas negativas nos resultados das buscas.

Especificamente para as respostas positivas a média foi de 3,85m/s e a mediana identificada foi de 3,64m/s. A análise das respostas positivas se fez necessária devido à quantidade de respostas negativas ser consideravelmente maior do que as positivas, logo os valores registrados naquelas onde não foi identificada a feição/alvo petrogênico poderia induzir a alguma interpretação equivocada, o que não se observou com a constatação que a média e a mediana são similares às média e mediana gerais (soma das respostas às buscas sim e não).

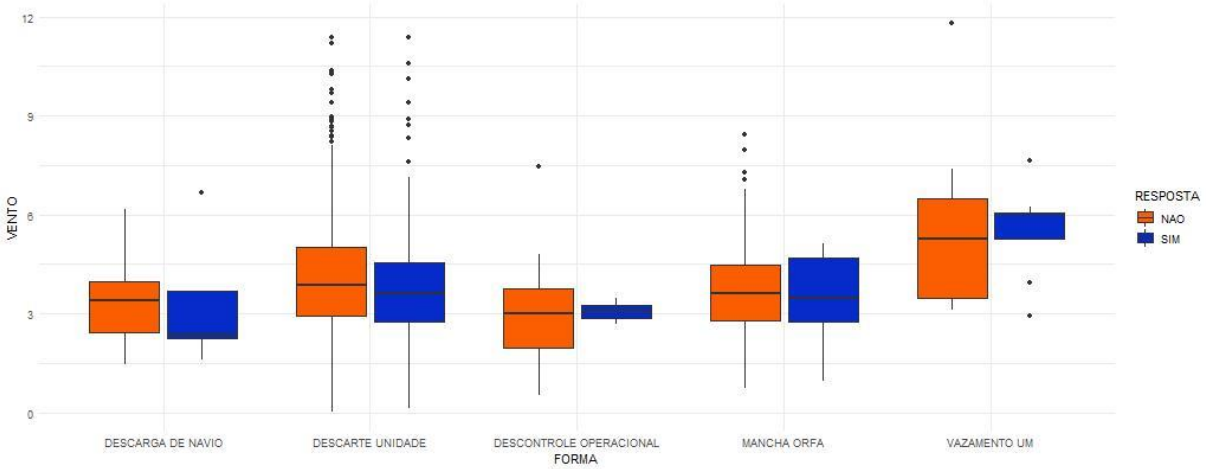
Figura 20: gráfico com a apresentação da variável Vento



Fonte: autora

Com estes valores de vento é possível identificar que a maioria das feições estão compreendidas na faixa indicada para registro de feição/alvo. Ainda assim, é possível identificar que as feições classificadas como "vazamento de unidade", para ambos os tipos de resposta, apresentam valores de vento acima das demais, conforme figura 21 abaixo. Pode-se deduzir que, devido à característica desta feição, mesmo com ventos de valores mais altos, há presença de camada ou espessura de óleo maior do que nas demais (Singha, 2014).

Figura 21: bloxplot com a apresentação da variável Vento e sua relação com a variável Forma



Fonte: autora

Esta variável não foi identificada como uma variável de grande importância na diferenciação das respostas as buscas, pois, para que ocorra a identificação de feição, esta variável necessita estar contida em uma faixa, o que foi concluído pelas observações analisadas neste projeto de pesquisa.

4.2. Regressão Logística Binária

A seleção da Regressão Logística Binária para a execução deste projeto ocorreu com a predição de variáveis que se colocassem como estatisticamente significativas ($\alpha \leq 0{,}05$) perante os dados coletados e analisados e que auxiliassem na tomada de decisão sobre quais feições/alvos seriam de maior relevância para busca de substância petrogênica em detrimento a outros. Todas as avaliações e testes destacados nesta seção foram efetuados no *software* livre R.

Com esta avaliação inicial, as variáveis foram analisadas e identificadas aquelas que seguiriam para elaboração de modelo com a melhor resposta para atendimento a necessidade do projeto.

Logo, a utilização da Regressão Logística Binária serve de alicerce para posteriores ações e a final execução deste projeto, que é o auxílio ao decisor responsável pelo envio de recursos selecionar quais feições/alvos são prioritárias de verificação.

Para atender a um dos preceitos da Regressão Logística Binária é necessário avaliar a existência da variável dependente dicotômica e categórica e mutuamente excludente, o que se aplica a este projeto de pesquisa e delineamento experimental (Field, 2009). A variável Resposta se apresenta de maneira dicotômica, pois existe apenas a possibilidade de respostas “sim” ou “não”, bem como é categórica. Não existe a possibilidade de a mesma feição/alvo ser enquadrada nas duas possíveis respostas. Esta variável também é dependente em relação as outras, pois o conjunto das outras variáveis são identificáveis ou medidas no momento da interpretação da imagem orbital. A variável Resposta é apenas definida após a realização das buscas e com a identificação ou não de substância petrogênica. Esta também não se apresenta com medidas repetidas, ou seja, há independência na observação.

Para a execução deste teste estatístico não paramétrico, por se tratar de variável dicotômica, o valor “1” foi atribuído para respostas onde foram identificadas a presença de material petrogênico. Já o valor “0” foi aplicado para as respostas “não”.

Em relação a disparidade entre as respostas obtidas nas buscas – quantidade de respostas negativas ocuparem cerca 75% do total de respostas as buscas de feições/alvos, como não é a expectativa desta análise a geração de modelos preditores com geração de curva ROC, onde se faz necessária a separação do banco de dados em treino e teste.

O modelo inicial, compreendendo todas as observações identificadas no período de tempo analisado contou com todas as variáveis presentes no bando de dados (Tempo, Forma, Contraste,

Dimensões e Vento). A partir de sua análise foram identificadas aquelas que apresentassem valores de $p \leq 0{,}05$, ou seja, que tenham relevância estatística para descrever que aquela variável é preditora para uma resposta positiva ou negativa. Neste modelo, identificado como Modelo 1, verificou-se a interação de todas as variáveis independentes. Apenas a variáveis Minuto apresentou valores de p menor do que 0,001. Já a variável Forma em sua categoria "Vazamento UM" estabeleceu valor de $p = 0{,}05$, ou seja, $p < 0{,}1$. Ambas as variáveis demostram que há diferença. Com isso a hipótese nula é rejeitada e um novo modelo, denominado Modelo 2 foi elaborado apenas com estas duas variáveis.

Para a tabela 3 abaixo, os valores de *Odds Ratios* (razões de chance) indicam a chance de um evento ocorrer em um grupo, se comparado a outro. Para o caso da variável Forma, os eventos estão relacionados a categoria "Descarte de unidade" – categoria de referência. Logo, em comparação com a categoria "Descarte de unidade" a chance de se ter identificado a saída "Sim" para a variável dependente Resposta foi de 0,42 vezes menor para a categoria "Descontrole operacional", ou seja, houve 58% menos chance de se identificar a feição/alvo como "Sim" para "Descontrole operacional" do que para "Descarte de unidade". Já para a categoria "Vazamento de unidade" a chance de se identificar feição/alvo como "Sim" foi 2,32 vezes maior para esta categoria em relação a identificar "Descarte de unidade".

Já o intervalo de confiança (CI) indica valores, dentro da probabilidade de 95%, em que o valor amostral esteja inserido, ou seja, onde a média amostral se aproxima da média real em 95% das observações. Quanto menor o intervalo de confiança há a indicação de que a média real se aproxima da média amostral. Este intervalo de confiança compreende valores entre 2,5% a 97,5%, que são os limites inferior e superior, respectivamente, onde esta média estará compreendida. Se o intervalo de confiança contiver o valor 1 significa que não há efeito, ou seja, não há diferença estatisticamente significativa que aumente ou diminua a chances daquele previsor estar contribuindo para a saída do modelo (Field, 2009). Caso isto seja identificado para um previsor, este não é significativo, portanto, não é interpretado para efeito de se analisar sua participação na saída variável dependente (variável Resposta).

O valor de p descrito na tabela abaixo indica se a variável é uma previsora estatisticamente significativa, quando abaixo de valores de significância de 0,05, pelo teste do qui-quadrado de Pearson. Variáveis com valor acima deste não são analisados, pois a sua participação como preditora para determina saída da variável dependente Resposta não serão significativos, já que a probabilidade do resultado ser um valor ao acaso e não representativo para àquela variável preditora é maior do que 5% (Field, 2009).

Observar os valores compreendidos no intervalo de confiança e o valor de *p* conferem a variável previsora a denominação de estatisticamente significativa ou não, conforme o nível de significância adotado.

No Modelo 1, descrito na tabela 3 abaixo, pode-se observar o resumo dos valores de *odds ratios* (razão de chances), o intervalo de confiança e o valor de *p* para todas as variáveis independentes que contribuirão, ou não, para a saída obtida na variável dependente Resposta.

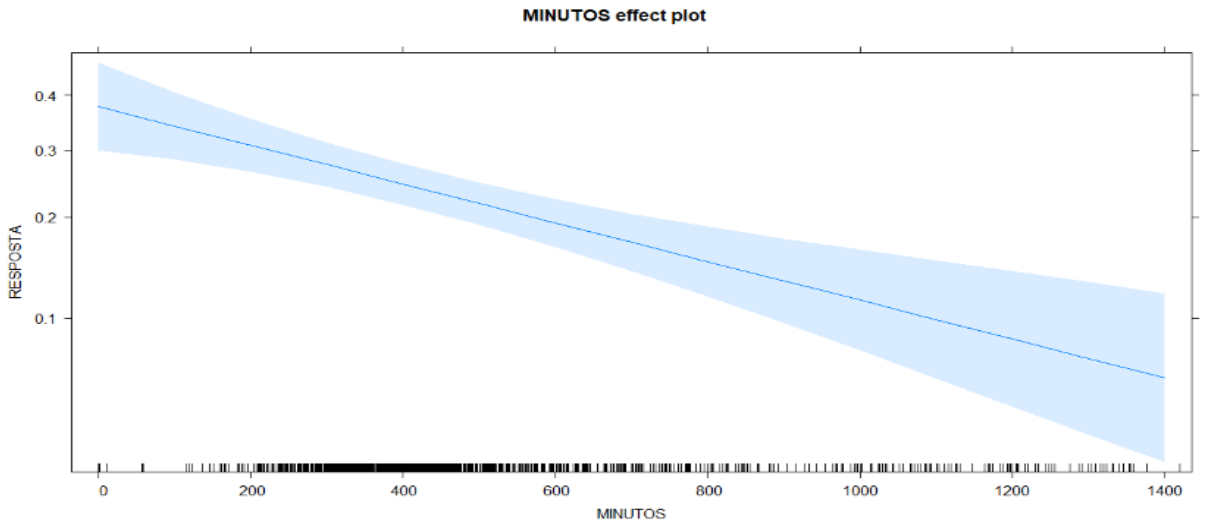
Tabela 3: resumo das predições de todas as variáveis observadas no Modelo 1

	RESPOSTA		
Predictors	*Odds Ratios*	*CI*	*p*
(Intercept)	0.63	0.21 – 1.75	0.386
FORMA [DESCARGA DE NAVIO]	0.97	0.31 – 2.49	0.948
FORMA [DESCONTROLE OPERACIONAL]	0.42	0.06 – 1.53	0.254
FORMA [MANCHA ORFA]	0.71	0.38 – 1.26	0.260
FORMA [VAZAMENTO UM]	2.32	0.97 – 5.28	**0.050**
VENTO	0.94	0.86 – 1.03	0.187
CONTRASTE [Baixo]	1.19	0.52 – 3.02	0.697
CONTRASTE [Medio]	1.13	0.48 – 2.93	0.793
DIMENSOES	1.02	0.99 – 1.06	0.236
MINUTOS	1.00	1.00 – 1.00	**<0.001**
R^2 Tjur		0.031	

Fonte: autora

Também é possível identificar uma correlação negativa entre identificação de feições/alvos contendo material petrogênico e o tempo de chegada do recurso ao local ou provável local, conforme figura 22 abaixo.

Figura 22: relação da variável Tempo (Minutos) com a variável Resposta – Modelo 1



Fonte: autora

Um segundo modelo – Modelo 2 – foi gerado para analisar a interação das variáveis Tempo e Forma.

Devido a identificação de respostas "positivas" em valores de tempo menores do que as negativas, optou-se por segregar as observações por tempo transcorrido entre a aquisição da imagem e a chegada do recurso. Com isso, o banco de dados foi segregado em feições/alvos onde o recurso chegou ao local ou provável local em até seis horas; de seis a oito horas; e além de oito horas. Esta separação foi visando à identificação de possível faixa com valor estatisticamente significativo e para, na utilização do método AHP, auxiliar o preenchimento por parte do decisor, já que está será a única variável que se deverá estimar um valor. As demais variáveis são medidas no momento da interpretação da imagem orbital. Com esta divisão de tempos, a variável Tempo (Minutos) também foi categorizada como dicotômica, ou seja, caso o valor estivesse compreendido na faixa de tempo estabelecida, seria atribuído o valor "1", caso contrário o valor "0".

No total deste projeto de pesquisa avaliaram-se seis modelos, no total, já que em cada modelo foram verificadas as variáveis estatisticamente significativas para três tempos distintos.

A escolha do modelo partiu da utilização do critério de informação de Akaike (AIC) e o critério de informação Bayesiano (BIC). Para ambas as classificações quanto menor o valor obtido melhor, ou mais representativo, será o modelo. Estes critérios de classificação também favorecem modelos que apresentam menos variáveis em sua composição e por isso são elencados como mais parcimoniosos, o que pode ser aplicado quando há um ou mais modelos com valores similares de AIC/BIC.

Para os dois modelos analisados e, nas partições de tempo estabelecidos, foram identificados valores de AIC e BIC que sugeriram a escolha do Modelo 2 – apenas as variáveis Forma e Tempo (Minutos).

Abaixo seguem os valores identificados de AIC/BIC para ambos os modelos.

Tabela 4: Comparativo entre os valores de AIC e BIC para cada modelo segregados por tempo de chegada do recurso

a)

Seleção do Modelo (até 6h)			
	df	**AIC**	**BIC**
MOD1	10	1047,985	1096,901
MOD2	6	1043,277	1072,626

b)

Seleção do Modelo (de 6h a 8h)			
	df	**AIC**	**BIC**
MOD1	10	1057,323	1106,239
MOD2	6	1051,573	1080,923

c)

Seleção do Modelo (mais de 8h)			
	df	**AIC**	**BIC**
MOD1	10	1037,080	1085,996
MOD2	6	1032,552	1061,902

Fonte: autora

Foram verificados, para cada modelo, a presença de *outliers* e/ou pontos de alavancagem, multicolinearidade e teste de verossimilhança (Field, 2009). Neste trabalho serão apresentados os atendimentos aos pressupostos para a utilização do Modelo 2, já que foi este o selecionado para análise, conforme descrito anteriormente.

Após a avaliação inicial dos dados, compreendendo todos os valores observados, a variável Tempo (Minutos) foi categorizada como dicotômica. Nesta próxima seção do trabalho serão apresentados os resultados, obtido pela técnica de Regressão Logística Binária, com os seus pressupostos e resultados.

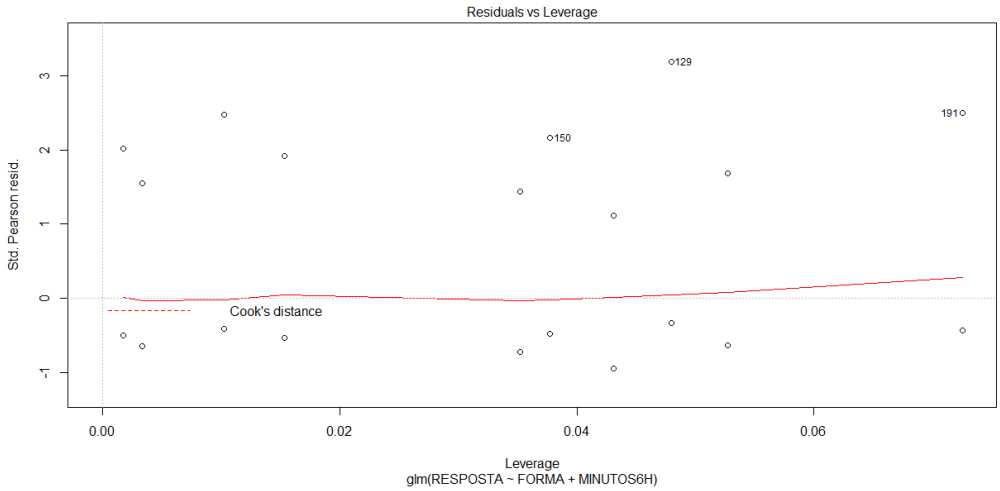
4.2.1. Avaliação do modelo 2 – repostas até 6h

A identificação de *outliers* e pontos de alavancagem foi efetuada através da análise dos resíduos padronizados e pontos de alavancagem (*Leverage*). É importante observar a existência de *outliers* em um modelo, pois estes poderão alterar a interpretação do mesmo. Esta verificação é feita nos resíduos do modelo, que nada mais são do que a diferença entre os valores previstos pelo modelo e os valores reais observados, sendo os resíduos padronizados os resíduos divididos por uma estimativa do seu próprio desvio padrão (Field, 2009). De regra, são entendidos como *outliers* valores maiores do que (+)3 ou (-)3. O gráfico abaixo indica, quando da existência de pontos de alavancagem expressivos, que são valores que influenciam na resposta da variável de saída sobre os valores previstos, ou seja, é a observação que será capaz de alterar o valor de saída, por se distanciar atipicamente da média (Field, 2009). Sua identificação é efetuada pela manifestação de uma linha pontilhada – situada em uma das extremidades direitas – com o valor de 0,5. Para esta amostra de dados, não foi sequer demostrada esta

linha no gráfico. Este valor, caso observado, teria a capacidade de influenciar a resposta da variável de saída prevista pelo modelo.

Abaixo segue figura 23 contendo o gráfico dos resíduos padronizados em relação aos pontos de alavancagem. As observações indicadas pelo gráfico foram analisadas no banco de dados, com o intuito de se identificar possíveis entradas erradas, como, por exemplo, erros de digitação. Contudo, os valores expressos eram reais e representavam as observações apontadas no gráfico.

Figura 23: gráfico com teste para identificação de *outliers* – resíduos padronizados *versus* pontos de alavancagem



Fonte: autora

Para identificação de possível multicolinearidade – correlação alta entre as variáveis independente Forma e Tempo (Minutos), foi aplicado teste para se medir o fator de inflação destas (Field, 2009). Este valor deverá ser abaixo de 10. Neste pressuposto não é possível se identificar forte correlação das variáveis independestes. Abaixo segue tabela contendo os valores de inflação – FIV, onde não é identificada multicolinearidade. Logo, este pressuposto também foi atendido.

Tabela 5: identificação de multicolinearidade

Multicolinearidade - FIV

	GFIV	**Df**	**GFIV^(1/(2*Df))**
FORMA	1,008596	4	1,001070
MINUTOS6H	1,008596	1	1,004289

Fonte: autora

Para este modelo aplicou-se teste de verossimilhança – Anova com teste de Wald. Para esta análise, apenas a variável Tempo (Minutos) demostrou-se estatisticamente significativa, com valor de p <0,001. Logo, há diferença entre os resultados de busca no que tange a variável Tempo (Minutos),

ou seja, o tempo da chegada do recurso contribuirá para a identificação de feição/alvo com substância petrogênica.

Tabela 6: Teste de Verossimilhança

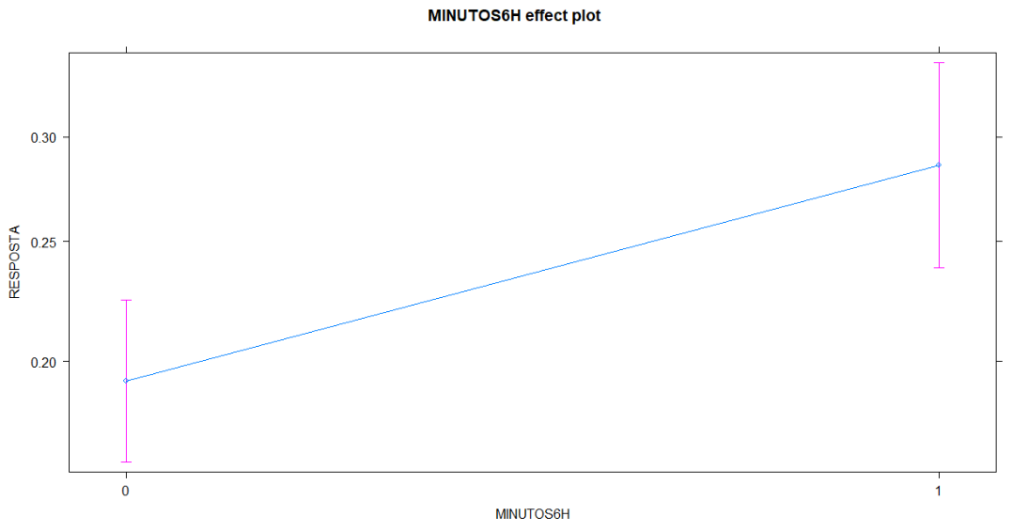
Teste de Verossimilhança (Anova, teste de Wald)			
Analysis of Deviance Table (Type II tests)			
Response: RESPOSTA			
	Df	**Chisq**	**Pr(>Chisq)**
FORMA	4	6,6074	0,158146
MINUTOS6H	1	10,566	0,001152***
"*" 0,001** "**"0,01 "*"0,05 "."0,1 " "1			

Fonte: autora

Para a avaliação do comportamento das observações na variável dependente Resposta foi elaborado gráfico baseados na variável independente Tempo (Minutos), para identificação de qual das suas possíveis saídas seria a de maior predominância.

Para a variável Tempo (Minutos) é possível observar que, a possibilidade de se identificar a resposta positiva as buscas, ou seja, resposta “1” para a variável dependente Resposta, é maior dentro das 6h, variável Minutos com resposta “1” para a identificação de feição petrogênica entre o horário da aquisição e a chegada do recurso.

Figura 24: gráfico da identificação da variável Tempo (Minutos) pela variável Resposta



Fonte: autora

A análise dos dados com foco em variáveis preditoras, no que tange a identificação de variável Resposta com valor igual a “1”, para identificação de feição petrogênica em até 6h, resultou apenas a variável Minutos com variável preditora estatisticamente significativa (valor de $p < 0,001$). A variável

Forma, com sua categoria “Vazamento de UM” seguiu como o segundo menor valor, porém com p < 0,1, porém, mesmo com este valor, entende-se que está é uma categoria de relevância para priorização nas buscas, a ser definida na aplicação do método AHP.

As variáveis preditoras, com seus respectivos *Odds Ratios*, intervalos de confiança (CI) e valores de *p* são listados na tabela e figura abaixo. As categorias de referência para Forma foi “Descarte de unidade” e para Minutos “0”. Para a variável Resposta a categoria de referência também foi “0”. Para a variável Minutos, no que se refere a identificação positiva de feições em até seis horas (6h), percebe-se um aumento da chance em 1,68 vezes de pertencer a categoria “Sim” da variável Resposta, do que pertencer a categoria “Não” da variável Resposta.

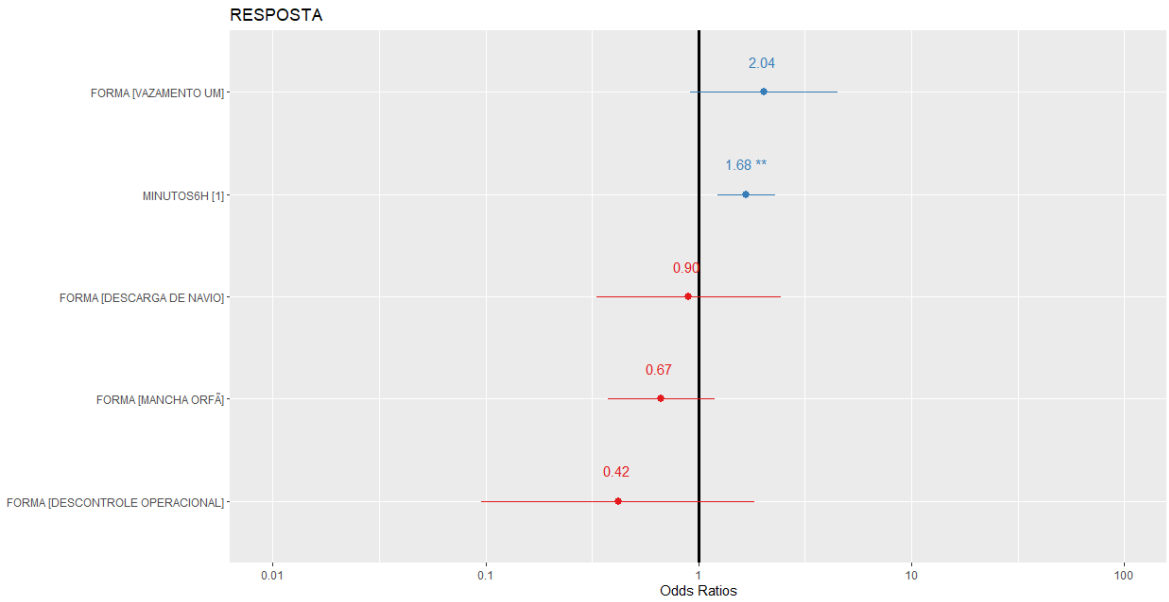
Tabela 7: resumo das predições de todas as variáveis observadas no Modelo 2

	RESPOSTA		
Predictors	*Odds Ratios*	*CI*	*p*
(Intercept)	0.25	0.20 – 0.30	**<0.001**
FORMA [DESCARGA DE NAVIO]	0.90	0.29 – 2.27	0.835
FORMA [DESCONTROLE OPERACIONAL]	0.42	0.07 – 1.49	0.248
FORMA [MANCHA ORFA]	0.67	0.36 – 1.16	0.171
FORMA [VAZAMENTO UM]	2.04	0.89 – 4.44	0.080
MINUTOS6H [1]	1.68	1.23 – 2.29	**0.001**
R2 Tjur		0.017	

Fonte: autora

Conforme identificado, tanto pela tabela 07 acima, quanto pela figura 25 abaixo, são identificadas apenas como variáveis preditoras, aquelas cujo intervalo de confiança não contém o valor 1.

Figura 25: gráfico com a identificação de variáveis preditoras



Fonte: autora

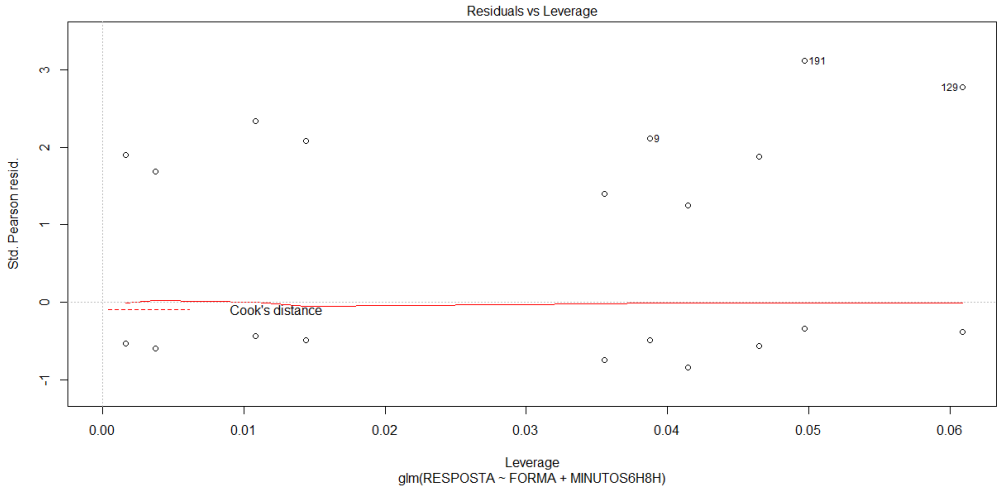
O modelo de Regressão Logística Binária mostrou que a variável Tempo (Minutos), para valores de chegada de recurso ao local, ou provável local da feição/alvo, quando abaixo de 6h, é uma previsora para a identificação de feição petrogênica na superfície do mar ($X^2_{(1)} = 10{,}566$; $p < 0{,}001$; R^2Tjur = 0,017). Há um aumento de chance de se identificar feições petrogênicas onde o recurso chegou ao local em até 6h a partir da aquisição da imagem orbital, ou seja, se identificar uma resposta "Sim" (OR = 1,68; IC 95%: 1,23 – 2,29).

4.2.2. Avaliação do modelo 2 – repostas de 6h a 8h

Para este intervalo de tempo – de 6h a 8h de chegada do recurso ao provável local da feição, após o horário da aquisição da imagem orbital – a identificação de *outliers* e pontos de alavancagem também foi efetuada através da análise dos resíduos padronizados. Nesta avaliação também não foram verificados *outliers* e a existência de pontos de alavancagem

Abaixo segue figura 26 contendo o gráfico dos resíduos padronizados em relação aos pontos de alavancagem. Assim como no período de até 6h, para a faixa de 6h a 8h as observações indicadas pelo gráfico, como pontos de alavancagem foram analisadas no banco de dados, com o intuito de se identificar possíveis entradas erradas. Contudo, os valores expressos eram reais e representavam as observações apontadas no gráfico.

Figura 26: gráfico com teste para identificação de outliers – resíduos padronizados versus pontos de alavancagem



Fonte: autora

Para identificação de possível multicolinearidade – correlação alta entre as variáveis independente Forma e Tempo (Minutos), foi aplicado teste para se medir o fator de inflação destas. Assim como no período de até 6h, não é possível se identificar forte correlação das variáveis independestes. Abaixo segue tabela contendo os valores de inflação, onde não é identificada multicolinearidade. Logo, este pressuposto também foi atendido.

Tabela 8: identificação de multicolinearidade

Multicolinearidade - FIV

	GFIV	Df	GFIV^(1/(2*Df))
FORMA	0,001713	4	1,000214
MINUTOS6H8H	0,001713	1	1,000856

Fonte: autora

Para este modelo aplicou-se teste de verossimilhança – Anova com teste de Wald. Para esta análise, que estabelece as respostas dentro do período de 6h a 8h, nenhuma das variáveis se demostrou como estatisticamente significativa. Para este período de tempo transcorrido não há diferença entre as possíveis saídas da variável Resposta, ou seja, o recurso poderá chegar ao local e identificar ou não a presença de feição petrogênica. A probabilidade de uma ou outra resposta ocorrer ao acaso é maior do que se define como aceitável ($p < 0,05$).

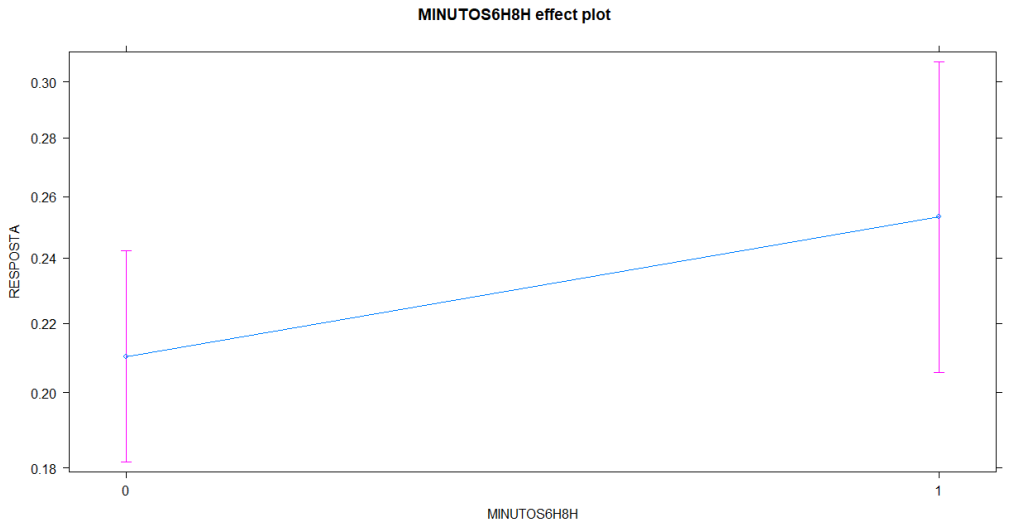
Tabela 9: Teste de Verossimilhança

Teste de Verossimilhança (Anova, teste de Wald)			
Analysis of Deviance Table (Type II tests)			
Response: RESPOSTA			
	Df	**Chisq**	**Pr(>Chisq)**
FORMA	4	6,3562	0,1741
MINUTOS6H8H	1	2,1291	0,1445
"*" 0,001** "**"0,01	"*"0,05	"."0,1	" "1

Fonte: autora

A avaliação do comportamento da variável dependente Resposta em relação a variável independente Tempo (Minutos) também foi praticada para esta faixa de tempo. No gráfico abaixo é possível observar que, a possibilidade de se identificar a resposta positiva as buscas, ou seja, resposta "1" para a variável dependente Resposta, mesmo que menor do que na faixa anterior (6h), é maior do que a possibilidade de não se identificar feição petrogênica.

Figura 27: gráfico da identificação da variável Tempo (Minutos) pela variável Resposta



Fonte: autora

A análise dos dados, com o objetivo de estabelecer variável preditora, para o reconhecimento de feição petrogênica, quando da chegada do recurso entre 6h a 8h, a partir do horário da aquisição da imagem orbital, não identificou nenhuma variável que se adequasse a este julgamento ($p \leq 0{,}05$).

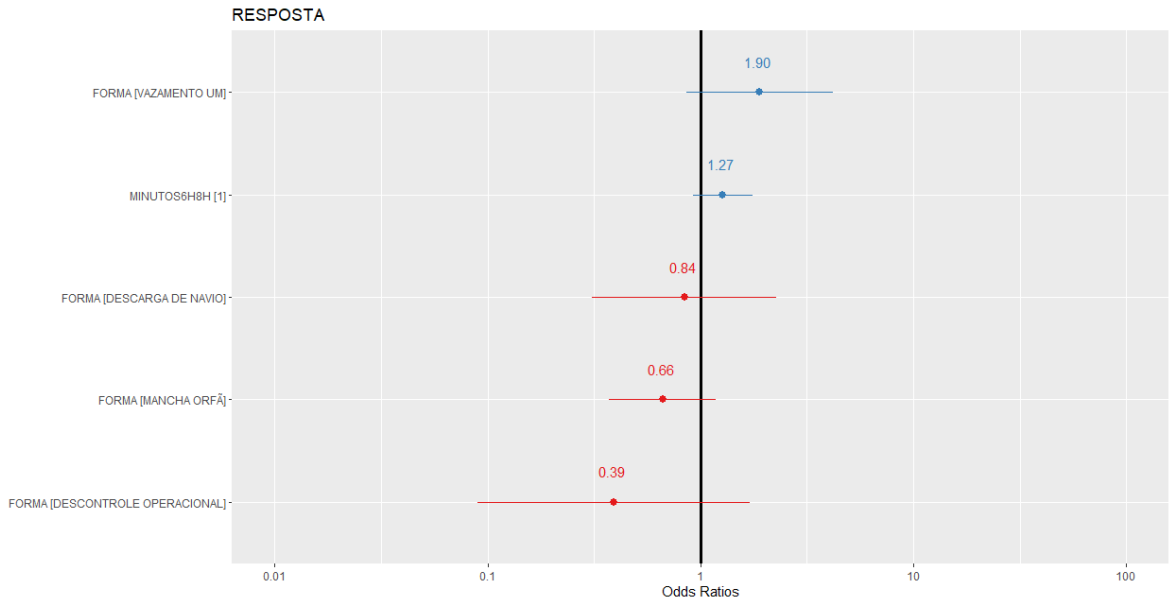
As variáveis preditoras, com seus respectivos *Odds Ratios*, intervalos de confiança (CI) e valores de *p* são listados na tabela 10 e figura 28 abaixo. As categorias de referência permaneceram as mesmas da faixa de horário anteriormente analisadas.

Tabela 10: resumo das predições de todas as variáveis observadas no Modelo 2

	RESPOSTA		
Predictors	*Odds Ratios*	*CI*	*p*
(Intercept)	0.28	0.23 – 0.34	**<0.001**
FORMA [DESCARGA DE NAVIO]	0.84	0.28 – 2.10	0.728
FORMA [DESCONTROLE OPERACIONAL]	0.39	0.06 – 1.38	0.211
FORMA [MANCHA ORFA]	0.66	0.36 – 1.15	0.165
FORMA [VAZAMENTO UM]	1.90	0.83 – 4.11	0.113
MINUTOS6H8H [1]	1.27	0.92 – 1.76	0.145
R^2 Tjur		0.009	

Como demostrado na tabela 10 acima e pela figura 28 abaixo, não há variáveis preditoras – estatisticamente significativas – $p \leq 0{,}05$. Todas as variáveis e suas categorias possuem intervalo de confiança que permeia o valor 1.

Figura 28: gráfico com a identificação de variáveis preditoras



Fonte: autor

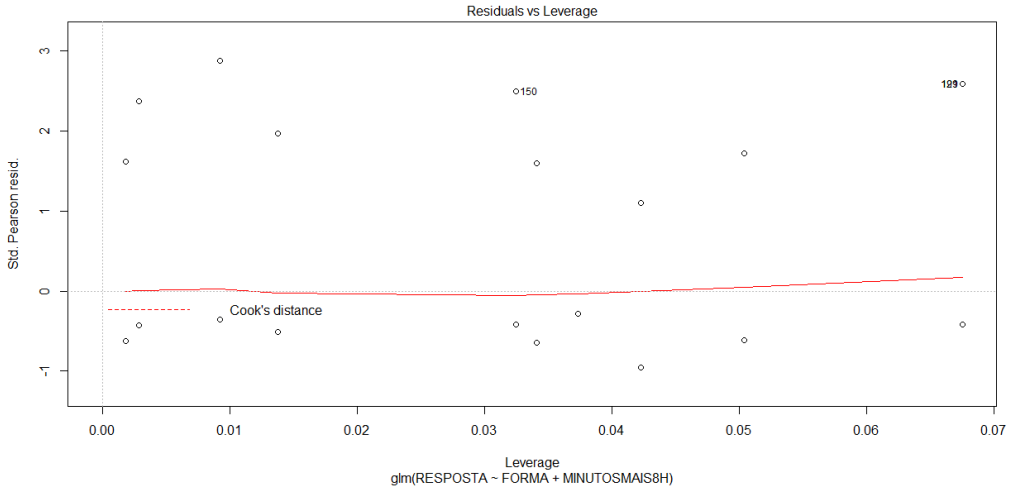
O modelo de Regressão Logística Binária, para valores de tempo entre 6h a de 8h, não identificou nenhuma de suas variáveis como preditoras para a identificação ou não de resposta positiva as buscas de feições oleosas na superfície do mar. Nenhum dos valores de *p* foi menor ou igual a 0,05. Logo, dentre 6h a 8h, após a aquisição da imagem nenhuma variável é capaz de predizer a resposta as buscas.

4.2.3. Avaliação do modelo 2 – repostas acima de 8h

Para este intervalo de tempo – acima de 8h de chegada do recurso ao provável local da feição, após o horário da aquisição da imagem orbital – foram praticados os mesmos testes anteriormente aplicados para as demais faixas de tempo. Também feições, onde o recurso chegou ao local ou provável local após as 8h, não foram identificados *outliers* e pontos de alavancagem.

Abaixo segue figura 29 contendo o gráfico dos resíduos padronizados em relação aos pontos de alavancagem. Assim como no período de até 6h e de 6h a 8h as observações indicadas pelo gráfico, como pontos de alavancagem foram analisadas. Estes eram valores reais observados.

Figura 29: gráfico com teste para identificação de outliers – resíduos padronizados versus pontos de alavancagem



Fonte: autora

Para identificação de possível multicolinearidade foi aplicado teste para se medir o fator de inflação das variáveis selecionadas para o modelo em estudo – Modelo 2. Assim como nos períodos anteriores, não é possível se identificar forte correlação das variáveis independestes. Abaixo segue tabela contendo os valores de inflação, onde não é identificada multicolinearidade

Tabela 11: identificação de multicolinearidade

Multicolinearidade - FIV

	GFIV	Df	GFIV^(1/(2*Df))
FORMA	1,015855	4	1,001968
MINUTOSMAIS8H	1,015855	1	1,007896

Fonte: autora

Para este modelo, compreendendo chegada do recurso após 8h, foi também aplicado o teste de verossimilhança – Anova com teste de Wald. Diferentemente do resultado da faixa de tempo anterior,

houve, assim como para identificações até 6h, a identificação da variável Tempo (Minutos) como variável previsora estatisticamente significativa, com valor de $p < 0{,}001$. Porém, diferentemente da faixa de até 6h, onde as chances de se identificar a presença de feição petrogênica era positiva, ou seja, a variável dependente Resposta ser categorizada como "Sim", para as feições/alvos interpretados onde o recurso somente chegou após 8h, a partir da aquisição da imagem, as chances de não se identificar feição – variável dependente Resposta categorizada como "Não", é que são estatisticamente significativas (segundo demais análises deste tópico da pesquisa).

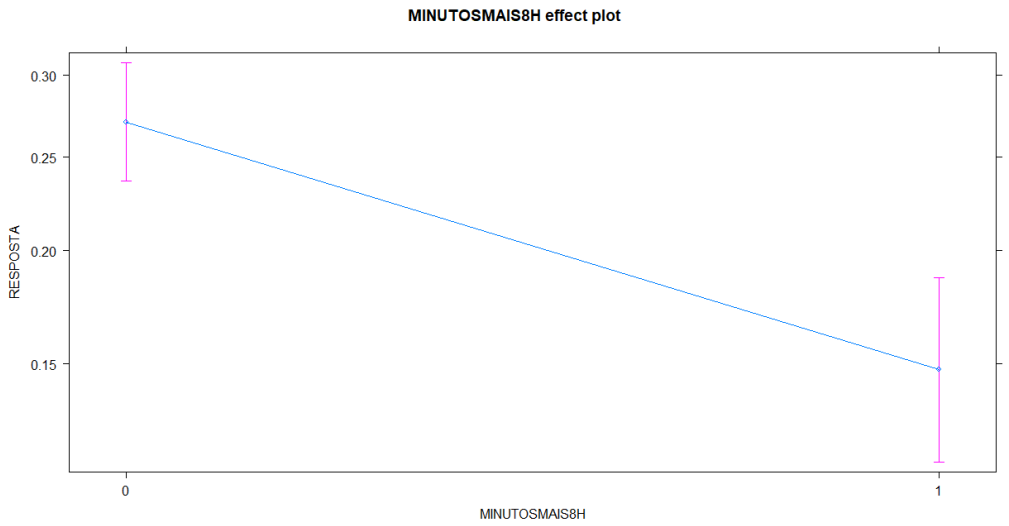
Tabela 12: Teste de Verossimilhança

Teste de Verossimilhança (Anova, teste de Wald)			
Analysis of Deviance Table (Type II tests)			
Response: RESPOSTA			
	Df	**Chisq**	**Pr(>Chisq)**
FORMA	4	7,2735	0,1221
MINUTOSMAIS8H	1	19,729	8,925e-06***
"*" 0,001** "**"0,01	"*"0,05	"."0,1	" "1

Fonte: autora

A avaliação do comportamento também foi efetuada para este período de tempo. O que é relevante observar nesta faixa é a inversão da identificação de feição, ou seja, resposta igual a "1" (equivalente a resposta "Sim" a identificar feição petrogênica), para a variável Tempo (Minutos).

Figura 30: gráfico da identificação da variável Tempo (Minutos) pela variável Resposta



Fonte: autora

Ao se analisar as variáveis preditoras, a variável Tempo (Minutos), assim como para feições de até 6h, também se aplicou como preditora as buscas, porém de maneira inversa à identificação (OR < 1).

Contudo a variável Forma, em sua categoria "Vazamento de UM", mostrou-se no limiar de sua colocação como variável preditora. Seu valor de *p* foi de 0,048. Esta variável indica a probabilidade de se identificar a feição, após um vazamento de petróleo em uma unidade marítima, mesmo após oito horas transcorridas – aquisição até a chegada do recurso – se comparada a categoria "Descarte de unidade".

As variáveis preditoras, com seus respectivos *Odds Ratios*, intervalos de confiança (CI) e valores de *p* são listados na tabela e figura abaixo. As categorias de referência permaneceram as mesmas da faixa de horário anteriormente analisadas.

Tabela 13: resumo das predições de todas as variáveis observadas no Modelo 2

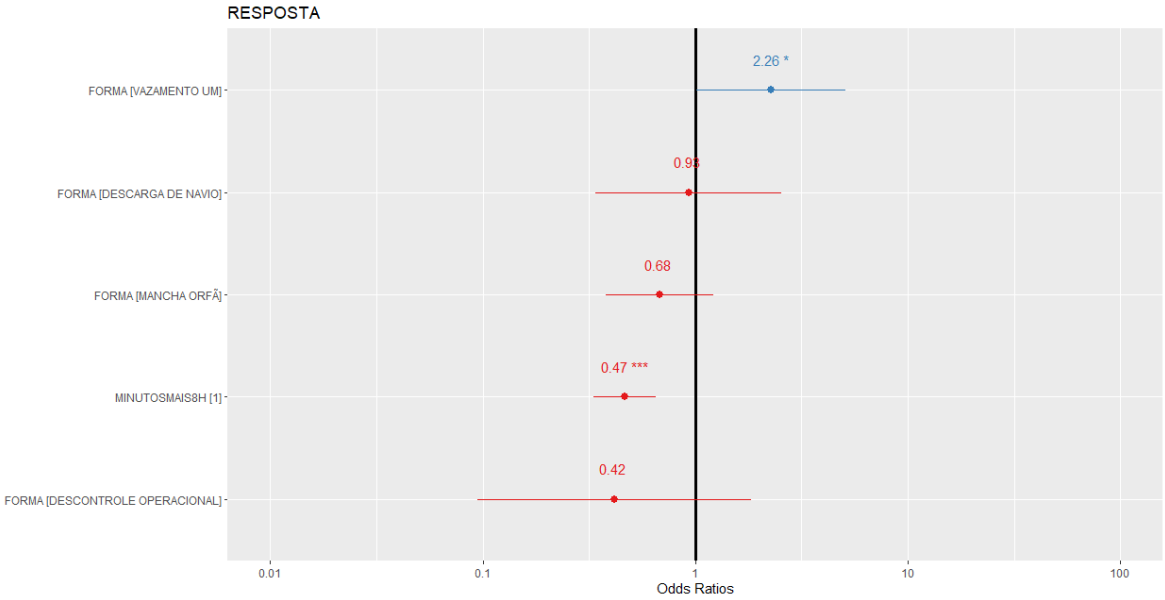
	RESPOSTA		
Predictors	*Odds Ratios*	*CI*	*p*
(Intercept)	0.38	0.32 – 0.46	**<0.001**
FORMA [DESCARGA DE NAVIO]	0.93	0.30 – 2.36	0.886
FORMA [DESCONTROLE OPERACIONAL]	0.42	0.07 – 1.49	0.247
FORMA [MANCHA ORFA]	0.68	0.37 – 1.19	0.197
FORMA [VAZAMENTO UM]	2.26	0.97 – 5.00	**0.048**
MINUTOSMAIS8H [1]	0.47	0.33 – 0.65	**<0.001**
R^2 Tjur	0.027		

Fonte: autora

A chance de se identificar feição com a saída da variável dependente Resposta como "Sim", após 8h, é 53% menor do que se identificar esta resposta em uma feição onde a chegada do recurso ocorreu em até 8h.

Como demostrado na tabela 13 acima e pela figura 31 abaixo, as variáveis preditoras, sendo a variável Tempo (Minutos) – estatisticamente significativas – com $p \leq 0{,}05$ e indicando o aumento de chances de não identificação, enquanto a variável Forma, categorizada como "Vazamento de UM", se aproxima no ao limiar de não ser classificada como previsora – cortar o eixo de valor 1. Todas as demais categorias possuem intervalo de confiança que transpassa o valor 1.

Figura 31: gráfico com a identificação de variáveis preditoras



Fonte: autora

O modelo de Regressão Logística Binária mostrou que a variável Tempo (Minutos), para valores acima de 8h, é uma previsora para a não identificação de feição petrogênica na superfície do mar ($X^2_{(1)}$ = 19,729; p < 0,001; R^2Tjur = 0,027. Há uma redução de chance de se identificar feições petrogênicas onde o recurso chegou ao local após 8h da aquisição da imagem orbital, ou seja, identificar uma resposta "Não" (OR = 0,47; IC 95%: 0,33 – 0,65).

Nesta amostra, pertencente a categoria "Vazamento de UM" está associada a um aumento das chances de pertencer a categoria "Sim" de se identificar a feição petrogênica (OR = 2,26; IC 95%: 0,97 – 5,0) em relação a categoria de referência "Descarte de unidade".

4.3. Aplicação da metodologia AHP para tomada de decisão

O método AHP é aplicado para inúmeros eventos onde são identificadas diversas escolhas possíveis. Baseado em prerrogativas, que estabelecem graus de importâncias diversos, e definem as preferências de decisores. Esta metodologia foi selecionada para auxílio a tomada de decisão, no que tange o envio de recursos para busca de feições/alvos suspeitos de conter substância petrogênica.

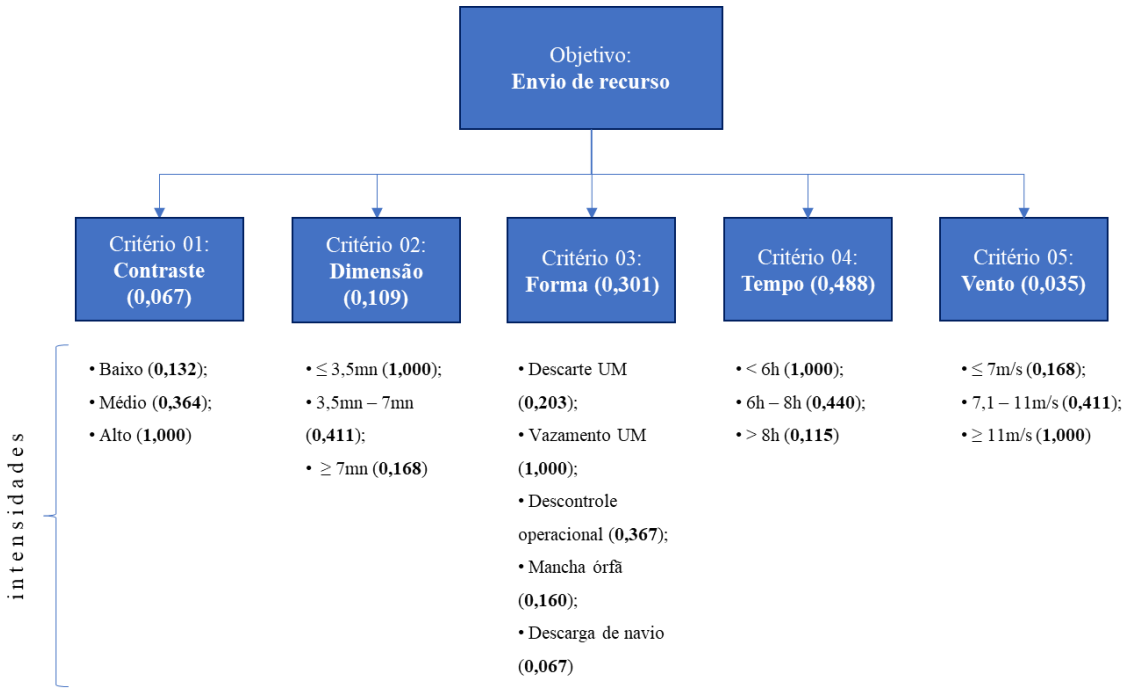
A finalidade desta pesquisa é selecionar feições/alvos que possuam determinadas características, individuais ou conjuntas, que indiquem uma maior probabilidade de se identificar feição/alvo petrogênica. Esta confirmação é feita com o envio de recursos (embarcações e/ou aeronaves) para pesquisa no local ou prováveis locais identificados por imagens orbitais. Como o envio

de recursos é um fator crítico, devido as suas disponibilidades, faz-se necessária a priorização dos mesmos.

Contudo, o envio de recursos deverá se embasar em critérios de seleção, como forma de amparar a tomada de decisão. Os critérios estabelecidos são aqueles identificados como as variáveis independentes do estudo (Contraste, Dimensão, Forma, Tempo e Vento). Estes serão subdivididos (intensidades), já que cada um tem capacidade de contribuir com qualidades distintas para identificação ou não de substância petrogênica.

As variáveis dependente e independentes foram avaliadas através da Regressão Logística Binária para melhor representação na hierarquização do problema. Abaixo, segue figura 32 contendo a exposição acima descrita, já com os valores de prioridades locais aplicados aos critérios e intensidades. O método AHP com *ratings* foi escolhido para aplicação nesta pesquisa pela possibilidade de inúmeras feições/alvos em uma única aquisição de imagem orbital, o que poderia dificultar o processo decisório.

Figura 32: hierarquização para tomada de decisão pelo método AHP com o objetivo de envio de recurso, com seus critérios e intensidades, bem como os devidos pesos aplicados



Fonte: autora

Como próxima etapa para a aplicação deste método foi elaborada matriz quadrática, onde descreveu-se todas as variáveis independentes estudadas. Após, baseado nos valores expressos na Escala Fundamental (Saaty e Vargas, 2001), os critérios foram comparados par a par. Estes valores

atribuídos a cada comparação foram definidos pela autora da pesquisa, baseada nas avalições pretéritas desta pesquisa. Desta forma temos a seguinte matriz com as definições para cada variável.

Tabela 14: matriz de comparações par a par

	Forma	**Tempo**	**Dimensão**	**Contraste**	**Vento**
Forma	1	1/3	5	5	9
Tempo	3	1	5	7	9
Dimensão	1/5	1/5	1	3	3
Contraste	1/5	1/7	1/3	1	3
Vento	1/9	1/9	1/3	1/3	1
Soma	4,511	1,787	11,667	16,333	25,000

Fonte: autora

Conforme apresentado na tabela 14 acima o critério “Tempo” é o de maior relevância, sendo por exemplo, três vezes mais relevante do que a variável “Forma”, cinco vezes mais relevante do que a variável “Dimensão”, sete vezes mais relevante do que a variável “Contraste” e nove vezes mais relevante do que a variável “Vento”.

Para prosseguir no cálculo da matriz do método AHP é necessário a normalização de cada comparação. A normalização é feita através da divisão do valor da comparação pela soma dos valores de sua respectiva coluna. Para a matriz elaborada, a normalização dos dados gerou os valores descritos na tabela 15 abaixo. Após a normalização dos dados, o somatório de cada linha e a média aritmética desta geram o valor das prioridades dos critérios – vetor prioridade.

Tabela 15: Normalização dos dados da matriz de comparações para os critérios

	Forma	**Tempo**	**Dimensão**	**Contraste**	**Vento**	**Vetor Prioridade**
Forma	0,22	0,19	0,43	0,31	0,36	0,301
Tempo	0,67	0,56	0,43	0,43	0,36	0,488
Dimensão	0,04	0,11	0,09	0,18	0,12	0,109
Contraste	0,04	0,08	0,03	0,06	0,12	0,067
Vento	0,025	0,062	0,029	0,020	0,040	0,035

Fonte: autora

Após a normalização da tabela e estabelecimento do vetor prioridades é possível observar o grau de relevância das variáveis independentes para alcançar o objetivo. Com esta observação é identificável que o valor mais expressivo é em relação a variável Tempo (Minutos), com 49% de importância na definição de seleção de uma feição/alvo para o envio de recurso. Já a variável Vento representa apenas 3,5% do total das cinco variáveis. A variável Tempo (Minutos) foi aquela que prevaleceu em relação a valores estatisticamente significativos para definição de respostas positivas as

buscas. Por este motivo, ela permanece com um valor de prioridade maior do que as demais, sendo seguida pela variável Forma, onde a categoria "Vazamento de UM" também apresentou valores estatisticamente significativos.

Os cálculos do método AHP requisitam que seja verificada a consistência dos julgamentos das comparações par a par. É necessário se calcular a razão de consistência (CR) comparando o índice de consistência (CI) da matriz, onde os julgamentos foram definidos, com o índice de consistência de uma matriz tipo aleatória (RI). O valor de RI é padronizado pela própria metodologia (Saaty e Vargas, 2001) e aplicado para diferentes tamanhos de matrizes. Para a matriz em estudo, o valor é de 1,11, conforme Tabela 02.

O valor de λ_{max} é obtido através da multiplicação de cada valor da primeira linha com a primeira coluna da matriz de comparação, com o valor da prioridade do primeiro critério. O processo segue com a multiplicação do valor da segunda coluna da matriz de comparação, com o valor de prioridade do segundo critério. Este processo segue para todos os itens da matriz. A nova matriz contendo os valores de consistência é reportada abaixo – tabela 16. Devido os valores das comparações par a par de cada variável com ela própria possuir o valor 1, quando este é multiplicado com a sua prioridade, o valor que retorna é a própria prioridade.

A partir da elaboração da matriz de consistência é possível se calcular a soma ponderada para cada critério – linha. De posse deste valor de soma ponderada, o dividimos pelo valor de prioridade correspondente a cada critério.

O valor de λ_{max} finalmente é obtido pela média aritmética aplicada ao valor Soma*. Com isso o valor de λ_{max} é **5,314**.

Por ser uma matriz de quinta ordem, n será igual a 5, a aplicação dos valores na fórmula $CI = (\lambda_{max} - n)/(n - 1)$, retorna um valor de índice de consistência (CI) de **0,078**.

Por fim, de posse de todos os valores para o cálculo de consistência, este poderá ser calculado. O cálculo para se obter a taxa de consistência nada mais é do que o índice de consistência (CI) dividido pela razão de consistência (RI), já padronizada por Saaty. Os valores na fórmula revelam uma taxa de consistência de **0,071**. O limite tolerável definido é de 0,1 (Saaty e Vargas, 2001). Logo, os valores aplicados de prioridades a cada critério se demostraram consistentes para a aplicação do método AHP para o envio de recursos para busca de feições/alvos.

Tabela 16: matriz de consistência para os critérios

Matriz de Consistência	Forma	Tempo	Dimensão	Contraste	Vento	Soma/ Prioridades
Forma	0,301	0,163	0,546	0,334	0,316	5,521
Tempo	0,902	0,488	0,546	0,468	0,316	5,569
Dimensão	0,060	0,098	0,109	0,200	0,105	5,249
Contraste	0,060	0,070	0,036	0,067	0,105	5,067
Vento	0,033	0,054	0,036	0,022	0,035	5,162
					Soma*	**26,568**

ʎmax = 5,314 CI = 0,078 CR = 0,071

A aplicação de rótulo e valores as intensidades seguiram os mesmos parâmetros daqueles da Regressão Logística Binária e a Escala Fundamental (Saaty e Vargas, 2001). Com isso, os rótulos e valores para cada critério e suas intensidades foram admitidos pela autora, conforme demostrado abaixo. Para o cálculo da matriz de quinta ordem o valor de RI é 1,11. Já para matrizes de terceira ordem é 0,52, conforme Tabela 02. Serão apresentadas as matrizes de comparação, valores de $ʎ_{max}$, CI e CR. Os cálculos para obtenção destes valores seguem os mesmos apresentados para a elaboração da matriz de consistência dos critérios.

A aplicação do AHP com *ratings* sugere a idealização do vetor prioridade para as intensidades, ou seja, atribuir o valor 1 ao valor mais alto identificado pelo vetor prioridade e dividir as demais intensidades por esta (Saaty, 2006).

O critério Tempo (variável independente Minutos) foi segregado na Regressão Logística Binária de forma a avaliar faixas onde valores estatisticamente significativos fossem identificados. Com isto, obteve-se que feições/alvos onde o recurso chegou até o local – ou provável local – em até seis horas, após a aquisição, apresentavam uma maior probabilidade de identificação de presença de substância petrogênica sobre a superfície do mar. Logo, atribuiu-se valor que o definisse com maior intensidade.

Tabela 17: matriz de comparação par a par para o critério Tempo, definição do vetor prioridade e dos valores de ʎmax, CI e CR

Tempo	Até 6h	De 6h - 8h	Mais de 8h	Vetor Prioridade	Idealizado
Até 6h	1	3	7	0,643	1,000
De 6h - 8h	1/3	1	5	0,283	0,440
Mais de 8h	1/7	1/5	1	0,074	0,115

$ʎ_{max}$ = 3,066 CI = 0,033 CR = 0,063

Os rótulos atribuídos ao critério Forma (variável independente Forma) são aqueles já identificados pelas conclusões do mecanismo de interpretação da imagem orbital. Seus valores foram conferidos baseados nas respostas da Regressão Logística Binária, onde a categoria "Vazamento de UM" apresentou valor *p*, como estatisticamente significativo.

Já os valores atribuídos as categorias "descontrole operacional" representam a possibilidade maior de presença de óleo, pois estes sugerem esta existência, conforme descrito anteriormente nesta pesquisa. E por fim, a categoria "descarga de navio" registrou o menor valor, pois embarcações poderão alijar água residuais, durante a sua própria navegação, e isto gerar um alisamento na superfície, devido a própria mistura entre água do mar e efluente.

Tabela 18: matriz de comparação par a par para o critério Forma, definição do vetor prioridade e dos valores de ʎmax, CI e CR

Forma	Descarte unidade	Vazamento unidade	Descontrole unidade	Descarga de Navio	Mancha órfã	Vetor Prioridade	Idealizado
Descarte unidade	1	1/5	1/3	5	1	0,113	0,203
Vazamento unidade	5	1	5	9	7	0,556	1,000
Descontrole unidade	3	1/5	1	5	3	0,204	0,367
Descarga de Navio	1/5	1/9	1/5	1	1/3	0,037	0,067
Mancha órfã	1	1/7	1/3	3	1	0,089	0,160

ʎmax = 5,273 CI = 0,068 CR = 0,062

Fonte: autora

Os rótulos para o critério Dimensões (variável independente Dimensões) são relacionados às análises estatísticas descritivas – média, mediana e moda. Este critério não demostrou haver, em nenhuma avaliação, valor estatisticamente significativo. Por este motivo, foram segregados em três faixas, onde as mais baixas apresentam maior valor em relação as demais.

Tabela 19: matriz de comparação par a par para o critério Dimensões, definição do vetor prioridade e dos valores de ʎmax, CI e CR

Dimensões	Até 3,5mn	De 3,5mn - 7mn	Mais de 7mn	Vetor Prioridade	Idealizado
Até 3,5mn	1	3	5	0,633	1,000
De 3,5mn - 7mn	1/3	1	3	0,260	0,411
Mais de 7mn	1/5	1/3	1	0,106	0,168

$ʎ_{max}$ = 3,039 CI = 0,019 CR = 0,037

Fonte: autora

O critério Contraste (variável independente Contraste) é definido pelo mecanismo de interpretação da imagem orbital. Este também não se apresentou como estatisticamente significativo.

O emprego de valores maiores para quanto maior for o contraste da feição/alvo é devido a possibilidade de feições com maiores espessuras de óleo se apresentarem com estas características mais definidas (tonalidade e bordas) diante outras feições/alvos adquiridos na mesma imagem orbital e próximas a esta.

Tabela 20: matriz de comparação par a par para o critério Contraste, definição do vetor prioridade e dos valores de ʎmax, CI e CR

Contraste	Baixo	Médio	Alto	Vetor Prioridade	Idealizado
Baixo	1	1/3	1/7	0,088	0,132
Médio	3	1	1/3	0,243	0,364
Alto	7	3	1	0,669	1,000
		$ʎ_{max}$ = 3,007	CI = 0,004	CR = 0,007	

Fonte: autora

O critério Vento (variável independente Vento) foi avaliado de forma a caracterizar que quanto maior o seu valor medido, maior seria o seu valor atribuído. Isso se deve ao fato de que para se obter uma feição/alvo em uma imagem orbital, os valores de intensidade de vento precisam estar ocupando uma faixa ideal (Brekke e Solberg, 2005). Caso a imagem apresente feição/alvo, mesmo com ventos de intensidade superiores àqueles registrados como ideais, supõe-se que havia algo na superfície capaz de manter o alisamento da superfície do mar, com maior espessura, mesmo com valores de intensidade de vento altos, o que sugere a presença de petróleo.

Tabela 21: matriz de comparação par a par para o critério Vento, definição do vetor prioridade e dos valores de ʎmax, CI e CR

Vento	Até 7m/s	7m/s - 11m/s	Mais de 11m/s	Vetor Prioridade	Idealizado
Até 7m/s	1	1/3	1/5	0,106	0,168
7m/s - 11m/s	3	1	1/3	0,260	0,411
Mais de 11m/s	5	3	1	0,633	1,000
		$ʎ_{max}$ = 3,039	CI = 0,019	CR = 0,037	

Fonte: autora

4.3.1. Avaliação da metodologia AHP para tomada de decisão

A fim de identificar se as prioridades selecionadas pelo método AHP, para as feições/alvos identificados em interpretações de imagens orbitais, dispuseram as feições já conhecidas como oleosas entre as primeiras a terem o recurso direcionado para a busca, elaborou-se tabelas comparativas.

Estas tabelas consistiam em uma quantidade de dez feições cada, sendo cinco feições com resposta positiva as buscas e outras cinco feições sem a identificação de feições oleosas. O objetivo era que as feições que resultaram em respostas positivas permanecessem nas primeiras posições de priorização. O percentual de acerto teria uma faixa de acerto de 100% (todas as feições positivas ocuparam as cinco primeiras colocações) até 0% (nenhuma permaneceu como prioritária).

A seleção das feições ocorreu de forma que todas as feições positivas fossem testadas, isto é, criou-se um quantitativo de tabelas comparativas, em grupos de cinco feições positivas, até se esgotarem todas as feições em que a busca resultou em material petrogênico. Este mesmo quantitativo foi replicado para as respostas negativas. Logo, cada tabela apresentava cinco feições positivas e outras cinco feições negativas.

As feições com resposta negativas foram selecionadas por amostra simples e dispostas de forma aleatória. As respostas positivas foram integralmente utilizadas, porém também dispostas de maneira aleatória. Utilizou-se para esta operação o *software* Microsoft Excel®.

O preenchimento das tabelas ocorreu com o auxílio de *software* Microsoft Excel®, através de ferramenta de listas suspensas. Desta forma, o decisor insere apenas valores pré-definidos e utilizáveis para a priorização pelo método AHP. Os dados, feições/alvos dispostos para esta avaliação foram os mesmo que os aplicados nas análises estatísticas e da Regressão Logística Binária. A produção de dados através do *software* livre *SuperDecisions* também foi aplicada nesta pesquisa. As figuras 33 e 34 foram extraídas do *software* livre *SuperDecisions* para demonstração.

Para o cálculo das prioridades globais e o estabelecimento da ordem de prioridades é necessário calcular a multiplicação do valor do peso de cada critério com o peso da alternativa indicada para determinada feição/alvo. Após executar esta atividade, para cada critério, em todos as feições/alvos, estes valores serão somados, normalizados e idealizados. Desta maneira, obtém-se a ordem de prioridades, onde aquele de maior valor final será o primeiro a ser indicado para busca inicialmente.

Abaixo, segue exemplo contendo a tabela 22 com o cadastro das feições, suas prioridades calculadas pela metodologia estudada. As feições de um a cinco resultaram em buscas onde se identificou substância petrogênica e as de seis a dez não.

Tabela 22: Matriz contendo as prioridades locais e globais para priorização do envio de recurso, *software* Microsoft Excel®

Enviar recurso	**Forma**	**Tempo**	**Dimensão**	**Contraste**	**Vento**	**Normalizado**	**Ideal.**	**Ranking**
Peso dos critérios	**0,301**	**0,488**	**0,109**	**0,067**	**0,035**			
Feição 01	Descarte unidade	Até 6h	Até 3,5mn	Baixo	Até 7m/s	0,138	0,765	Feição 03
Feição 02	Descarte unidade	Mais de 8h	Até 3,5mn	Baixo	Até 7m/s	0,049	0,274	Feição 01
Feição 03	Vazamento unidade	Até 6h	Mais de 7mn	Alto	Até 7m/s	0,181	1,000	Feição 04
Feição 04	Descarga de Navio	Até 6h	Até 3,5mn	Baixo	Até 7m/s	0,130	0,719	Feição 06
Feição 05	Descarte unidade	Até 6h	Mais de 7mn	Baixo	Até 7m/s	0,120	0,662	Feição 10
Feição 06	Descarte unidade	Até 6h	De 3,5mn - 7mn	Baixo	Até 7m/s	0,125	0,692	Feição 05
Feição 07	Mancha órfã	Mais de 8h	Até 3,5mn	Baixo	Até 7m/s	0,047	0,259	Feição 02
Feição 08	Descarte unidade	Mais de 8h	Até 3,5mn	Baixo	Até 7m/s	0,049	0,274	Feição 08
Feição 09	Descarte unidade	Mais de 8h	De 3,5mn - 7mn	Baixo	Até 7m/s	0,036	0,201	Feição 07
Feição 10	Descarte unidade	Até 6h	De 3,5mn - 7mn	Baixo	Até 7m/s	0,125	0,692	Feição 09

Fonte: autora

Figura 33: prioridades estabelecidas no *software* SuperDecisions

Alternatives	Priorities	Totals	Contraste (0.0619)	Dimensão (0.1036)	Forma (0.3008)	Tempo (0.5003)	Vento (0.0335)
F3	0.1830	0.8855	Alto	Mais de 7mn	Vazamento uni...	Até 6h	Até 7m/s
F1	0.1389	0.6723	Baixo	Até 3,5mn	Descarte unida...	Até 6h	Até 7m/s
F4	0.1315	0.6363	Baixo	Até 3,5mn	Descarga de N...	Até 6h	Até 7m/s
F6	0.1262	0.6107	Baixo	De 3,5mn - 7mn	Descarte unida...	Até 6h	Até 7m/s
F10	0.1262	0.6107	Baixo	De 3,5mn - 7mn	Descarte unida...	Até 6h	Até 7m/s
F5	0.1210	0.5858	Baixo	Mais de 7mn	Descarte unida...	Até 6h	Até 7m/s
F2	0.0470	0.2275	Baixo	Até 3,5mn	Descarte unida...	Mais de 8h	Até 7m/s
F8	0.0470	0.2275	Baixo	Até 3,5mn	Descarte unida...	Mais de 8h	Até 7m/s
F7	0.0449	0.2171	Baixo	Até 3,5mn	Mancha órfã	Mais de 8h	Até 7m/s
F9	0.0343	0.1659	Baixo	De 3,5mn - 7mn	Descarte unida...	Mais de 8h	Até 7m/s

Fonte: autora

Figura 34: gráfico gerado pelo *software* SuperDecisions para priorização das feições/alvos para envio de recursos

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
F1		0.759301	0.138931	0.138931
F2		0.256925	0.047010	0.047010
F3		1.000000	0.182972	0.182972
F4		0.718654	0.131493	0.131493
F5		0.661526	0.121041	0.121041
F6		0.689735	0.126202	0.126202
F7		0.245169	0.044859	0.044859
F8		0.256925	0.047010	0.047010
F9		0.187358	0.034281	0.034281
F10		0.689735	0.126202	0.126202

Fonte: autora

A resposta para priorização das buscas apresentou 72,7% das alternativas (feições/alvos), cuja resposta às buscas era sabida como identificadoras de feição petrogênica, respostas “Sim”, ocupando de três a quatro posições – entre as cinco primeiras disponíveis, ou seja, priorizou feições/alvos com presença de óleo. Em 27,3%, três ou mais feições, cujas buscas haviam resultado em respostas negativas, ocuparam as cinco primeiras colocações.

A fim de analisar com maior atenção o método proposto para envio de recursos, optou-se por realizar novos testes. Estes, ao invés de igualar o quantitativo de feições com respostas positivas a respostas negativas em tabelas comparativas, executaram a nova testagem conforme o percentual aproximado de feições negativas (~75%) e feições positivas (~25%). Por esta razão, as tabelas comparativas assumiram valores de sete feições com respostas negativas e três feições com respostas positivas. Logo, o melhor resultado seria que as três primeiras posições da tabela comparativa, que contém dez elementos, incluíssem as três feições com resposta positiva as buscas.

Para isto novas tabelas foram elaboradas e divididas em respostas positivas que ocuparam as primeiras três posições, ou duas, ou uma, ou nenhuma destas três primeiras posições.

Com esta nova análise obtiveram-se os seguintes resultados:

- 63,6% ocuparam as duas das três primeiras posições;
- 31,8% ocuparam uma das três primeiras posições; e
- 4,5% não foram enquadradas em nenhuma das três primeiras posições.

Estes valores ainda demostram uma boa classificação pelo método, ao passo que quase dois terços do conjunto ainda está priorizado para o envio de recursos.

4.3.2. Análise de sensibilidade dos critérios Forma e Tempo

A fim de se verificar o quanto a alteração de pesos dos critérios corrobora para um possível incremento dos resultados obtidos ou o quanto possui poder de alterá-los foi executada análise de sensibilidade onde os dois critérios de maior peso, Forma e Tempo, tiveram seus valores igualados na matriz de comparações, ambos receberam na comparação par a par o valor 1. O critério Tempo possuía peso de 0,488 e o critério Forma 0,301. Para a análise de sensibilidade, o novo peso aos critérios foi de 0,405 e 0,380, respectivamente. Os novos valores de λ_{max}, CI e CR seriam, respectivamente: 5,195; 0,049; e 0,044. Ainda apresentando consistência a matriz.

Ao efetuar a substituição do peso dos critérios e executar novas análises das tabelas comparativas não foram identificadas alterações que indicassem melhoria ou piora nos valores de priorização das feições/alvos. Logo, esta substituição não trará benefícios ou declínio para o processo decisório.

Tabela 23: matriz de consistência para os critérios Forma e Tempo com o mesmo peso (1)

Matriz de Consistência	**Forma**	**Tempo**	**Dimensão**	**Contraste**	**Vento**	**Soma/ Prioridades**
Forma	0,380	0,405	0,551	0,348	0,321	5,521
Tempo	0,380	0,405	0,551	0,487	0,321	5,569
Dimensão	0,076	0,081	0,110	0,209	0,107	5,249
Contraste	0,076	0,058	0,037	0,070	0,107	5,067
Vento	0,042	0,045	0,037	0,023	0,036	5,162
					Soma	**25,975**

λmax = 5,195 CI = 0,049 CR = 0,044

Fonte: autora

5. CONCLUSÃO

Imagens orbitais são boas ferramentas para detecção de possíveis feições oleosas em extensas áreas de interesse. Estas, quando apresentam taxas de revisitas frequentes a estas áreas, podem ainda indicar quais são os locais onde são identificadas as feições de forma recorrente, como também indicar a deriva de feições/alvos no transcorrer das aquisições – o que é de extrema relevância para eventos de vazamento de petróleo.

De posse de dados coletados no período de doze meses, da área de interesse estudada, onde ocorrem a exploração e produção de petróleo no litoral do Estado do Rio de Janeiro, foi possível descrever e analisar variáveis que contribuem para a identificação de possíveis feições oleosas.

Através desta análise de dados chegou-se a algumas conclusões relevantes sobre a utilização da ferramenta de monitoramento orbital. Inicialmente, não é possível afirmar que todas as feições/alvos identificados por ela são constituídos por material petrogênico. As imagens obtidas por tecnologia SAR – utilizadas como base para esta pesquisa – indicam a presença de uma substância com a capacidade de causar o alisamento da superfície do mar. Algumas morfologias identificadas por esta tecnologia induzem a acreditar que há esta presença, porém a confirmação desta ocorrência deverá ser avaliada no local ou possível local de identificação ou mesmo através de notificação da própria fonte poluidora.

Das investigações realizadas, apenas 25% das mesmas obtiveram a confirmação de substância petrogênica na superfície do mar. Mais de 80% das feições/alvos – para buscas que confirmaram ou não estes alvos – foram atribuídas a morfologia de descarte de unidade, que é caracterizada, usualmente, como água de produção, que tem a permissão de conter até determinados valores de óleos e graxas por legislação específica. Com isso, é factível expressar que este tipo de feição, quando identificada em imagem orbital, deverá ser averiguada por outros parâmetros ou conjuntamente a estes. Um dos possíveis parâmetros de análise seria a verificação do enquadramento dos teores de óleos e graxas, com uma faixa temporal antes da aquisição orbital. Além deste importante parâmetro outras características são importantes para análise da identificação da feição, como as condições meteorológicas e oceanográficas no horário da aquisição e preteritamente a esta, e também a tipologia de unidade que realiza o descarte. Estes dois parâmetros são relevantes já que, o primeiro, pode indicar a presença de calmaria, ou condições que favoreçam o acúmulo e concentração de óleos e graxas nas proximidades da unidade. Assim, não havia a diluição dos mesmos e ficaria o seu registro pela imagem orbital. O outro já está relacionado a possibilidade de a própria unidade gerar uma área de "calmaria" no local do seu descarte. Quando este é feito em área, onde a unidade se faz como uma barreira (antepara) entre o vento, vindo de um bordo, e o descarte no bordo oposto, também poderá ocorrer o acúmulo de efluentes. Esta área – sombra de vento – também poderá indicar a possível presença de feição, porém seria devido ao alisamento provocado pela ausência de turbulência na superfície da água. Esta zona também pode ser capturada pelo satélite e interpretada como possível feição/alvo. Logo, para este tipo de feição/alvo, deve haver maior detalhamento das informações com a unidade marítima geradora, a fim de realizar uma melhor averiguação da mesma.

Diante dos dados apresentados, pode-se descrever que não é exato mencionar que o conjunto de determinadas características de uma feição/alvo são decisórios para a identificação de feições oleosas. Contudo, algumas de suas características se demostraram com maior inclinação para a identificação positiva. As variáveis que reportaram o tempo de chegada do recurso para a identificação da feição e também a sua morfologia foram consideradas boas preditoras para estes eventos.

Feições/alvos onde os recursos estão próximos a sua localização inicial tendem a ser apurados em menor tempo. Isto gera maiores constatações positivas devido ao menor tempo de deslocamento do recurso ao provável local e também a derivação da feição/alvo do local. Somado a isso está o fato de haver uma menor intemperização da feição/alvo, com a própria diluição e espalhamento. Feições/alvos que possuem uma fina camada de óleo podem ser confundidas com a formação de filmes biogênicos gerados por algas ou matéria orgânica, por exemplo.

Vazamentos de óleo tem suas características morfológicas bem delineadas e contam com a real presença de petróleo na superfície do mar. Feições/alvos com estas características devem ter o envio de recursos priorizados, a fim de minimizar impactos socioambientais. Esta categoria de variável se demostrou relevante tanto para a constatação nas primeiras seis horas como também após oito horas de aquisição.

As demais variáveis analisadas não indicaram possuir tendências a identificação positivas de presença de óleo na superfície do mar. As análises estatísticas descritivas e com a utilização da Regressão Logística Binária não demostraram inclinações destas que levassem a conclusões de suas relevâncias para o objetivo de identificação de feições/alvos com substâncias petrogênicas. Porém, suas análises foram valiosas para o entendimento que mesmo apresentando pouca contribuição são relevantes para a identificação de feições/alvos no monitoramento orbital e são capazes de acrescentar informações, mesmo que não tão destacáveis, para a seleção de feições/alvos na priorização do envio de recursos.

A aplicação do método AHP demostrou-se como uma boa ferramenta para a seleção de prioridades no que se refere as feições/alvos com suspeita de possuir substâncias petrogênicas. Através da análise dos dados, as variáveis – critérios – puderam ser valoradas e estabelecidas em ordem preferencial para o envio de recursos.

O conjunto de dados registrados nesta pesquisa foi qualificado segundo esta metodologia. As respostas obtidas, com a priorização das feições/alvos, indicaram boa aderência a seleção de respostas positivas já conhecidas. A faixa encontrada para estas respostas permaneceu de 68% a 72% das primeiras três colocações – sendo dez feições no total, onde cinco identificaram óleo e as outras cinco não. Com estes resultados acredita-se em um melhor refinamento das buscas e auxílio a tomada de decisão por parte do usuário final. Outro ponto de interesse na aplicação desta metodologia é a redução da subjetividade do processo. Isto porque, cada decisor – usuário final – poderá estimar de diferentes formas quais as feições que devem ter prioridade para envio de recursos sobre outras. O intuito do uso da ferramenta não é direcionar o usuário final para uma resposta inviolável, mas sim auxiliar em um processo que poderá apresentar um quantitativo maior de feições/alvos do que recursos disponíveis para averiguação no local ou provável local, ou mesmo direcionar para aquelas que possuem

características em que, a análise de dados, sugere haver presença de material petrogênico. Outro ponto de interesse decorre na utilização desta ferramenta de forma conjunta por operadoras de exploração de petróleo, que possuem um *pool* de recursos para atuação em uma área de interesse. Com a utilização da ferramenta sugerida, a empresa controladora dos recursos poderá sugerir a utilização dos mesmos, sem que o direcionamento indique privilégios a determinada companhia em detrimento a outras.

Torna-se necessária a continuação da análise dos dados coletados a partir do término do banco de dados analisado. Isto se faz necessário para identificação de novas variáveis e avaliações para aprimorar o entendimento do comportamento de feições/alvos na superfície do mar. Informações não absorvidas por esta pesquisa como a angulação da aquisição da imagem orbital, o período de aquisição – matutino ou vespertino, valores de intensidade de correntes oceânicas (que permitem um maior espalhamento de feições oleosas), tipo de unidade que realizou o descarte (FPSO, semi-submersível, etc), além de valores de teores de óleos e graxas lançados nos descarte são mais informações que poderão corroborar para um melhor entendimento do assunto e auxiliar na decisão de envio de recursos para eventos como maiores potenciais poluidores. Maiores detalhamentos, inclusive das feições já identificadas como positivas podem ser proveitosos, como por exemplo, o local de identificação da presença de substância petrogênica foi próxima a fonte, após a zona de mistura – que é de 500m, pela – CONAMA 393/2007 – ou na parte mais extrema da feição, para o caso daquelas feições/alvos classificados como descarte de unidade. A utilização de simulação de deriva de óleo também é um fato de interesse para aprofundamento da pesquisa, pois poderá ser uma variável estatisticamente preditora, já que auxilia na identificação de uma provável trajetória da feição/alvo e com isso o direcionamento do recurso.

Desta forma, acredita-se que a pesquisa desenvolvida tenha real valor para a minimização de impactos negativos no ambiente marinho, através da melhoria no direcionamento de recursos para eventos com maior capacidade de dano ambiental, como também se faz necessária a continuação das avaliações de feições/alvos por monitoramento orbital, seja para coleta de dados e aprofundamento do tema, como também a própria identificação de feições/alvos suspeitos de presença petrogênica, a fim de que as condições ambientais marinhas sejam melhor resguardadas e os recursos utilizados aplicados de forma mais consciente e integra.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALPERS, W. et al. Oil spill detection by imaging radars: Challenges and pitfalls. **Remote Sensing of Enviroment** 201, p. 133-147, 2017.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº 393** de 8 de agosto 2007. Dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 de agosto de 2007.

BREKKE, C.; SOLBERG, A. Oil spill detection by satellite remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, v. 95, p. 1-13, 2005.

COSTA, J.F. et al. **Auxílio à Decisão Utilizando o Método AHP – Análise Competitiva dos Softwares Estatísticos**. XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 2010.

ELLWANGER, C. et al. Aplicação do Método AHP para Avaliação da Usabilidade de Sistemas. **Human Factors in Design**, v. 2, p. 3-16, 2013.

ESA. **Página Institucional**. Disponível em: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1. Acesso em 13 set. 2021.

FERRARO, G. *et al*. Towards an Operacional Use of Space Imagery for Oil Pollution Monitoring in the Mediterranean basin: A Demostration in the Adriatic Sea. **Marine Pollution Bulletin**, Vol. 54, p. 403-422, 2007.

FIELD, A. **Descobrindo a estatística usando o SPSS. 2ª edição**. Porto Alegre: Artmed. 2009.

FINGAS, M.; BROWN, C. Review of Oil Spill Remote Sensing. **Marine Pllution Bulletin**, v. 83, p. 9-23, 2014.

GOMES, A.P. **Gestão Ambiental da Água Produzida na Indústria de Petróleo: Melhores Práticas e Experiências Internacionais**. 2014. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 2014.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. **Princípios e Métodos para Tomada de Decisão Enfoque Multicritério**. 1ª edição. São Paulo: Atlas. 2019.

MARINS, C.S. et al. **O Uso do Método de Análise Hierárquica (AHP) na Tomada de Decisões Gerenciais** – Um Estudo de Caso. XLI SBPO Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento. 2009.

OZDEMIR, M.; SAATY, T. The unknown in decision making What to do about it. **European Journal of Operational Research**, v. 174, p. 349-359, 2006.

PETROBRÁS. **Página Institucional**. Disponível em: https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/5-coisas-que-voce-precisa-saber-sobre-a-renovacao-da-bacia-de-campos.htm. Acesso em 13 set. 2021.

PINESES JÚNIOR, J.; RODRIGUES, S. O método de análise hierárquica – AHP – como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Piedade (MG). **Revista Do Departamento De Geografia**, v. 23, p. 4-26, 2012.

SAATY, T. Decision making with the analytic hierarchy process. **Int. J. Services Sciences**, v. 1, p. 83-98, 2008.

SAATY, T. Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/netwok processes. **European Journal of Operational Research**, v. 168, p. 557-570, 2006.

SAATY, T.; VARGAS, L. **Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process**. 1ª edição. Boston: Kluwer Academic Publishers. 2000.

SALLES, S. Estado do Rio deve receber R$ 50 bi em 3 anos para setor de petróleo, diz Firjan. **CNNBrasil**. Disponível em: https://www.cnnbrasil.com.br/business/estado-do-rio-deve-receber-r-50-bi-em-3-anos-para-setor-de-petroleo-diz-firjan/, acesso em 16 set. 2021.

SINGHA, S. et al. Near real time monitoring of platform sourced pollution using TerraSAR-X over the North Sea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 86, p. 379-390, 2014.

TRINDADE, J.E. **Mensuração e Avaliação da Capacidade Inovativa de Micro, Pequenas e Médias Empresas: aplicação de métodos multicritério *fuzzy* de apoio à decisão**. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Metrologia da PUC-Rio. Rio de Janeiro. 2016.

CONCLUSÃO

A exploração e produção de petróleo ainda é preponderante nas atividades econômicas do Estado do Rio de Janeiro. Riscos ambientais, inerentes a esta atividade, podem ser minimizados se recursos de monitoramento forem empregados de forma contínua e os de resposta a situações adversas de maneira otimizada.

Os artigos expostos neste trabalho demostram a utilização de tecnologias de monitoramento, avaliação de características das feições/alvos e as possíveis interações com condição ambiental, legislações pertinentes e método para aperfeiçoar o envio de recursos para averiguação de presença de petróleo no mar. Este conjunto de informações reportam o quanto é repleto de possibilidades e interações de diversas áreas de conhecimento para que seja analisada a presença de feição/alvo na superfície do mar.

A aplicação do monitoramento orbital acrescido de técnica para enquadramento de possíveis feições/alvos com capacidade de conter material petrogênico, demostraram-se com bons desempenhos para auxiliar a minimização de impacto ambiental negativo por descargas deste tipo de material no ambiente oceânico.

Sugere-se, para trabalhos futuros, que outras análises de variáveis presentes nestes processos sejam executadas, a fim de melhorar a identificação de feições/alvos, como também a priorização dos recursos para averiguação.