

 UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

LAGEMAR
GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

**MÉTODO PARA A ESCOLHA DA DIRETRIZ DE MENOR RISCO NO
LANÇAMENTO DE DUTOS SUBMARINOS BASEADO NA TEORIA DOS GRAFOS
E SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY**

JOÃO BRUNO CUNHA

NITERÓI – RJ
JUNHO – 2011

JOÃO BRUNO CUNHA

MÉTODO PARA A ESCOLHA DA DIRETRIZ DE MENOR RISCO NO
LANÇAMENTO DE DUTOS SUBMARINOS BASEADO NA TEORIA DOS
GRAFOS E SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Dissertação apresentada ao curso de graduação em
Geofísica da Universidade Federal Fluminense, como
requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Geofísica.

Orientador: Prof. Dr. ARTHUR AYRES NETO

Niterói-RJ
2011

“Jedes herz ist eine revolutionäre zelle”

“Todo coração é uma célula revolucionária”

Provérbio Alemão.

AGRADECIMENTOS

É comum nesta seção se agradecer não somente ao apoio recebido na produção deste trabalho, mas sim a toda ajuda recebida durante o processo de graduação. E eu, sempre inadequado, desta vez não fugirei a regra, pois minha graduação por si só já fugiu as regras.

Esta graduação - meu maior desafio - precisou nessa década de elementos que foram sendo adquiridos no caminho de sonhos e pó que só um retirante, filho da quase-extinta classe média, campeão em minorias poderia ter: coragem, persistência e fé.

Ela teve início em 2001, quando fui aprovado no vestibular desta instituição pela primeira vez e não pude atendê-lo devido às mesmas dificuldades financeiras que impedem muitos estudantes da rede pública do interior do estado do Rio de Janeiro de vir realizar seus estudos nos campi de Niterói, mesmo ciente da existência de serviços que os amparam como moradia estudantil e refeitório a preços acessíveis.

Aqui preciso começar agradecendo a minha maior incentivadora: minha mãe, que sofreu comigo esse momento e todos os outros que seguiram. O coração desta índia é uma relíquia nesse mundo. A ela e meu pai devo muito mais que minha vida, e espero devolver parte do suor e tempo que investiram em minha criação, pois a devolução na íntegra já seria humanamente inviável. Preciso agradecer também a Aurora Naso *in memoriam*, pelo incentivo aos estudos os quais me fizeram um sedento por saber, fato que corroborou para que eu quisesse buscar uma graduação, algo bastante diferente dos interesses da maioria dos meus amigos técnicos formados na época.

Naquele momento a melhor opção era trabalhar e estudar para o vestibular seguinte 2002, no qual fui aprovado e comecei meus estudos no curso de Ciências da Computação. Como a maioria dos interioranos a opção era pleitear uma bolsa de monitoria ou iniciação científica, mas no Instituto de Computação desta universidade as particularidades que definem os alunos são rapidamente desprezadas, pois todos são tratados como números indexados por suas matrículas, fato que acaba acarretando na perda de ótimos alunos que não dispõem de mesmas condições e acaba tornando a Universidade pública privilégio de uma minoria que talvez nem seja digna de utilizá-la.

Devido às regras impostas pelo instituto, precisei realizar outro vestibular em 2005 para reaver minha bolsa. Por compartilhar dos mesmos valores e atravessarem esse deserto comigo agradeço aos meus irmãos Augusto Machado, Davidson Naves e Adriana Barros pessoas que amo, devo milhões e fazem toda a diferença em minha vida. Na fase computação, preciso também agradecer a Valéria Aguiar por segurar diversas barras comigo e aos amigos Felipes: Miranda - por ser meu porto seguro, abrindo diversas vezes as portas de sua casa (Hotel Califórnia) toda vez que precisei dividir apartamento – e Jaber pela parceria de inúmeras aventuras.

Tranquei minha matrícula de Computação no segundo semestre de 2005 e joguei a chave fora ao descobrir o que era Geofísica na empresa em que tive o prazer de trabalhar com os chefes que viraram amigos Dario Chaves e Trevor Stalker. Ana Braga, minha amiga rainha querida também entrou para minha vida nesse momento.

Em 2008 comecei a cursar ainda com a matrícula de Computação o curso de Geofísica (no qual fui matriculado pelo quarto vestibular em 2009) no Lagemar, um ambiente super agradável com pessoas maravilhosas as quais agradeço não só pela minha formação, mas também por diversas oportunidades que possibilitaram a minha estadia em Niterói. Em especial agradeço a coordenadora Eliane Costa, ao Prof.: Cleverson Guizan, Prof.: José Antônio Baptista Neto, ao Prof.: Alex Borges e a Gilda Esteves com quem tive o prazer de trabalhar para a UFF.

Na fase Geofísica agradeço a Renata Alves pela cumplicidade e força transmitida, e digo que tive o prazer de morar com super-heróis latinos, pessoas lindas, professores de História que amo, me enchem de orgulho e fazem acreditar em um futuro melhor: Diego Nazareth (O pibe) e Carlos Eduardo Rebuá (Jesus).

Falando em ídolos, quero agradecer especialmente ao Prof.: Arthur Ayres Neto, meu orientador que é um referencial de vida profissional e pessoal para mim por ser uma sumidade que não perdeu a humildade e ter me dado oportunidades únicas, acreditando em meu potencial em um momento em que ninguém mais acreditava. Ele não só me levou para Antártica, ele me ensinou o que é ser um geofísico de campo, e isso não tem preço.

Agradeço ao meu primo querido que conheci tardiamente no curso de Geofísica e compartilha das mesmas dificuldades e sabores dessa vida de privações, o qual foi fundamental para que eu não me sentisse sozinho nessa luta: Bruno Borguignon Mota.

Aos amigos Maria (revisora e contadora de estórias), Salsa (parceiro-sócio-torcedor), Fabrício (meu irmão mais novo) e Fernanda Vianna (Amiga-flor-Antártica), a geofísica que sempre me ajuda. A Mariana Alves, Leandro Lins, Moisés e Sonia Castro, Rosy e Don, Leni Alves, Natacha Rocha, Fil, Diogo Leite, Marimba e Carolina Stratievsky. A linda Natalia Kleinsorgen, por ter me ensinado o real significado desta palavra. Aos profa.: Nelma Ferreira (mais do que um Norte para mim), prof.: Lourenço Carline e prof.: Moisés (Literatura – Exame2002) por terem me “iluminado”. Agradeço também pela torcida de todos, dos futuros geofísicos (ou não) e dos parceiros do futebol e da vida geofísica: Tico, Birinho, JohnnyW, Vinicius Bin e aos mulambos: Jorge Guida, JK e Yan.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	4
RESUMO	8
ABSTRACT	9
1 INTRODUÇÃO	10
2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	11
3 EMBASAMENTO TEÓRICO	11
3.1 Acústica Submarina	11
3.1.1 Ecobatimetria	12
3.1.2 Sonografia	15
3.1.3 Sísmica rasa – Sub Bottom Profilers	17
3.2 Grafos	19
3.3 Riscos	22
3.4 Fuzzy	23
4 METODOLOGIA	26
4.1 Identificação das zonas de risco na área do lançamento e modelagem da área de estudo	26
4.2 Parametrização dos riscos com categorização dos mesmos e adoção do sistema de inferência	35
4.3 Avaliação dos riscos pelos especialistas em lançamento	39
4.4 Cálculo da magnitude do risco associado a cada trecho baseado no sistema de inferência Fuzzy	43
4.5 Descoberta da melhor rota baseado nos riscos calculados e estrutura modelada	47
5 RESULTADOS	47
6 CONCLUSÃO	49
7 ANEXOS	50
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

RESUMO

A Teoria dos grafos (Euler, 1736) estuda as relações entre objetos de um determinado conjunto e tem como unidade fundamental o Grafo, uma estrutura de pontos (ou nós) que se conectam através de arestas.

Atualmente, grafos são utilizados para modelar distribuições espaciais reais no âmbito computacional a fim de se resolver problemas de roteamento e escoamento de fluxos, sejam eles de qualquer natureza.

A lógica Nebulosa, ou Fuzzy, é capaz de trabalhar com incertezas que a lógica booleana não tem como lidar, agregando confiança na tomada de decisões onde existe muita subjetividade em sistemas de suporte a decisão.

Esse projeto utilizou a abstração dos grafos e inferências em lógica Fuzzy no escopo da Engenharia Submarina de forma a auxiliar na solução do problema da definição da diretriz de dutos no ambiente marinho. De modo que a área onde se deseja posicionar o duto é mapeada com os métodos geofísicos convencionais para este trabalho: a Batimetria, o Sonar de varredura lateral e a Sísmica monocanal de alta resolução. E os mapas resultantes deste levantamento são correlacionados a um grid, no qual cada nó é um vértice do grafo e cada caminho possível entre nós adjacentes é associado a uma aresta do grafo com um determinado peso.

O objeto deste projeto é o método responsável pela atribuição do peso às arestas do grafo. Método este que se baseia em um sistema de inferência Fuzzy o qual é responsável pela quantificação da magnitude dos riscos associados ao lançamento desse duto.

O sistema de inferência Fuzzy utiliza a metodologia de processo hierárquico analítico e a compilação de diversas opiniões de especialistas sobre os estudos dos diversos fatores que condicionam risco aos dutos como zonas de influência tectônica, falhas, gases em subsuperfície, tipos de fundo, gradiente do relevo submarino, e outros fatores diversos que impedem o lançamento do mesmo sobre uma determinada área. Podemos citar como exemplo regiões de sítios arqueológicos, reservas ambientais, áreas com presença de lixo, áreas passíveis de congelamento e áreas com presença de outras instalações submarinas.

Palavras-chave: diretriz dutos, risco, grafos, inferência Fuzzy.

ABSTRACT

The Graphs theory (Euler, 1736) studies the relations between objects in a specific math set which its main unity is the Graph. The graph is a structure of nodes that interconnect themselves through edges.

Currently, the graphs are used for modeling real spatial distributions in a computer environment in order to solve routing problems and network flows of any kind.

The Fuzzy logic is able to deal with uncertainty better than Crispy logic, bringing more confidence in supporting decisions regarding subjective issues. Fuzzy Inference Systems are supporting decision making methodologies in many areas..

This project uses graphs abstraction and Fuzzy Inference System in Submarine Engineering scope to aid in the marine pipelines' route selecting problem. The area where the pipe will be placed should be studied with standard Geophysics methods as bathymetry, side-scan and sub bottom profilers. These resultant maps must be gridded and related to a graph, where which graph node should represent a grid node, and a graph edge should represent the path between two adjacent nodes with a specific weight.

The object of interest of this project is the method responsible for the weight input (risks magnitudes) into graph's edges based on a Fuzzy Inference System. The Fuzzy Inference System uses AHP (Analytic Hierarchy Process) and a compilation of many specialists opinions about studies of several factors who represents risks to pipelines as tectonic zones, faulting, subsurface gases, different types of ocean bottom floor, and marine physiographic features. Among these factors there are other elements that raises difficulties to establish a path for a pipeline like the archeological sites, environment reserves, the presence of garbage, susceptible freezing areas and other domains taken by other submarine facilities.

Keywords: pipeline routes, risks, graphs, fuzzy.

1 INTRODUÇÃO

Os Dutos são a maneira mais segura, econômica e ecologicamente correta de se transportar hidrocarbonetos e seus derivados [9]. John D. Rockefeller foi um dos primeiros a sugerir que a maneira mais eficiente de se transportar combustíveis líquidos por longas distâncias em terra, não seria por rodas, mas sim por dutos. Ele tinha razão. Hoje os dutos transportam dois terços de todo o petróleo transportado no território americano. O preço por unidade é menor e a capacidade de transmissão é maior se comparado com trens ou caminhões. Embora seja possível construir dutos submarinos, o custo associado à sua construção onera o custo do transporte, tornando-o superior ao praticado por navios. Logo a maior parte do transporte de hidrocarbonetos e seus derivados em ambiente marinho é realizada por navios e não por dutos. Porém, com a crescente descoberta de campos de óleo e gás em regiões cada vez mais distantes da costa, e em profundidades de lâmina d'água que ultrapassam 3.000 metros, têm sido prática cada vez mais comum o emprego de oleodutos e gasodutos como solução para o escoamento da produção de óleo e gás de poços offshore para locais em terra.

Os problemas relacionados ao lançamento de dutos submarinos são diversos, o que torna a decisão sobre a melhor diretriz para a equipe que o lançará um problema complexo de muitas variáveis. Após se decidir o tamanho (calibre) e o tipo de revestimento que o duto terá - com base no que o mesmo transportará, na sua vida útil e no retorno do projeto - a equipe responsável pela escolha da diretriz deve se atentar aos riscos aos quais o mesmo estará suscetível. Riscos geológicos, antrópicos e ambientais que serão discutidos nesse projeto.

2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A problemática proposta em nosso trabalho objetiva discutir sobre o método que determinará a diretriz de menor risco de um duto, para o qual a vazão, o tipo, origem e destino sejam conhecidos. Este Duto será lançado em uma região hipotética, contendo os riscos conhecidos pela literatura.

3 EMBASAMENTO TEÓRICO

3.1 Acústica Submarina

O fundo oceânico é investigado pelo homem há alguns séculos, e a amostragem é o método mais antigo para se estudar o assoalho marinho e seu subfundo. A coleta de amostras de sedimentos possibilita a extração de parâmetros petrofísicos, o entendimento da geologia local e as extrapolações acerca da dinâmica sedimentar. A amostragem também possibilita inferir acerca dos paleoclimas, da idade e das atividades de organismos marinhos.

Mesmo com o avanço tecnológico da engenharia dos materiais, robótica, e das técnicas de amostragem, adquirir amostras ainda é uma atividade cara e demorada, se comparada às técnicas de investigação indiretas.

Ao lançarem mão dos conceitos físicos de propagação de ondas mecânicas (acústicas) para se inferir informações sobre o fundo, as técnicas de investigação indireta logram êxito de maneira mais econômica e rápida. Isso porque os métodos indiretos cobrem áreas, trazendo assim uma segunda dimensão à informação, uma vez que amostras são informações pontuais e requerem interpolação para o entendimento de uma superfície. Desse modo, por não serem pontuais, os métodos indiretos não necessitam que as embarcações fiquem estacionadas sobre determinada locação, acelerando o processo de aquisição de informação da área.

Os testemunhos e amostras coletadas trazem a informação “*in situ*” e por isso servem como amarrações às informações adquiridas pelos métodos indiretos e é a conjugação dos dois métodos que traz confiabilidade e completude as aquisições. Além

disso, o uso das técnicas indiretas traz a racionalização da utilização dos métodos diretos (amostragem) reduzindo riscos e custos [21] e [18].

Os métodos indiretos surgiram com a Segunda Guerra mundial, da necessidade de se localizar submarinos inimigos e de se navegar com mais precisão a grandes profundidades. Com o fim do conflito esta tecnologia passou a ser usada pelos pesquisadores para se investigar o fundo marinho. São métodos indiretos: Batimetria, sonografia e sísmica.

3.1.1 Ecobatimetria

A finalidade da Ecobatimetria é medir as profundidades dos oceanos, suas topografias, e determinar assim sua morfologia. A profundidade, correspondendo a distância entre o fundo marinho e a superfície, pode ser calculada, desde que se possa medir tanto o tempo que uma onda levaria para atingir o fundo e voltar à superfície quanto a velocidade com que a onda se propagaria nesse meio. O ecobatímetro, equipamento utilizado para se medir a Batimetria, tem os dois dispositivos necessários para viabilizar essa medição: um relógio interno e um transdutor. Com o transdutor é possível emitir e receber um sinal acústico, já o relógio mede o intervalo de tempo entre a transmissão e a recepção do sinal.

As imprecisões ficam a cargo da estimativa da velocidade de propagação da onda no meio, no caso o som na água do mar. Sabe-se que existem dois tipos de ondas acústicas, as compressionais (P), que se propagam na mesma direção do movimento das partículas que compõem o meio, e as cisalhantes (S) que se propagam na direção transversal ao movimento das partículas que compõem os meios que suportam o cisalhamento. Sabe-se também que os líquidos não suportam o cisalhamento, ou seja, seu módulo de rigidez é nulo. As velocidades de propagação das ondas P e S são dadas pelas equações:

$$V_P = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$
$$V_a = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

Equações 1a, 1b e 1c.

Onde V_p é a velocidade de propagação da onda P;

V_s a velocidade de propagação da onda S;

V_a é a velocidade de propagação da onda na água do mar;

K é o módulo de compressão do meio;

μ é o módulo de rigidez do meio;

e ρ é a densidade do meio.

Como o módulo de rigidez da água é nulo, não há onda S e a onda P é calculada como V_a . No denominador de V_a , há a densidade característica do meio, que, para a água do mar, é função da temperatura, salinidade e pressão. Parâmetros que variam de acordo com fatores ambientais como latitude, proximidade de rios, ação de correntes, ondas, marés, profundidades, sazonalidade, etc.

Logo a determinação da velocidade do som na água do mar é dada de forma empírica com suporte em equações experimentais, como as que Coppens e Mackenzie descreveram, e perfilagens da salinidade e temperatura da coluna d'água.

Dependendo do número de transdutores pode-se trabalhar com um dos dois sistemas: batimetria monofeixe (ou single beam) com apenas um transdutor, ou multifeixe (multi beam) constituídos por uma série de transdutores.

No sistema monofeixe, o transdutor fixo ao casco da embarcação emite um feixe único com ângulo de abertura variável com a frequência. A frequência de operação varia de acordo com o equipamento, e é escolhida de acordo com a necessidade do levantamento. Uma vez que a Terra funciona como um filtro passa-baixa, atenuando altas frequências muito rapidamente, os levantamentos proximais, de baixas cotas (até 150 metros) são feitos a altas frequências na ordem de 200KHz. Contudo para se sondar áreas mais profundas é preciso trabalhar com equipamentos com frequências de operação menores. Devido ao espalhamento esférico da onda acústica é preciso também uma maior potência no sinal transmitido para sondar áreas mais profundas. Equipamentos da ordem de 20KHz são capazes de sondar profundidades da ordem de 5000 metros.

O sistema monofeixe fornece informações pontuais de profundidade local, o que gera a necessidade de se interpolar pontos para se ter uma idéia da superfície estudada, problema semelhante ao método direto da amostragem. Para solucionar esse problema foi desenvolvido o sistema multifeixe, cujo arranjo de transdutores é capaz

de iluminar uma faixa ao invés de um ponto no fundo marinho. Esse arranjo é disposto transversalmente à direção de navegação da embarcação e o número de transdutores utilizados e o ângulo formado entre os feixes mais extremos são diferentes de fabricante para fabricante.

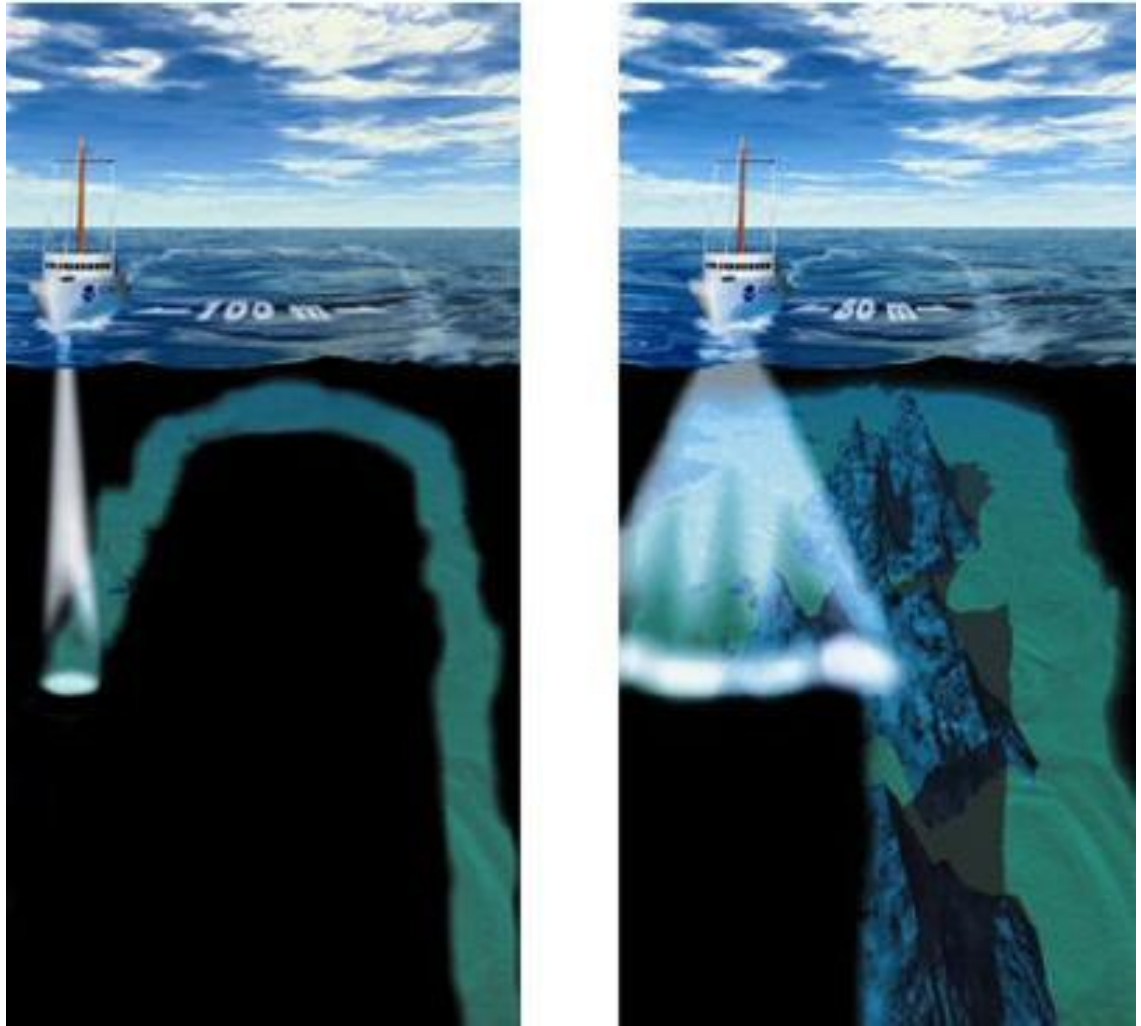


Figure 1 - Esquema da batimetria monofeixe a esquerda e multifeixe a direita. Fonte: NOAA 2007

A figura 1 elucida um dos problemas da batimetria monofeixe, sobre a resolução mínima de um levantamento capaz de captar todas as feições importantes no fundo marinho. Mostra também a economia no trajeto para se levantar a área por completo na batimetria multifeixe. A batimetria multifeixe tem essa vantagem, a de se cobrir 100% do área sondada.

A batimetria para esse trabalho será de grande importância, uma vez que gradientes elevados, descontinuidade de relevo, cânions, altos submarinos locais

proporcionados por bioconstruções calcáreas, entre outras variações batimétricas podem representar risco na passagem de dutos, principalmente no que tange a geração de vãos livres e resultantes direcionadas, as quais serão discutidas na parte de riscos ambientais.

3.1.2 Sonografia

O sonar de varredura lateral (Sound Navigation and Ranging) é outro método indireto ativo, assemelhando-se à batimetria multifeixe, com a diferença de que seus sensores, ao invés de serem conectados ao casco da embarcação, são rebocados pelo Navio e emitem dois feixes, um para cada lado do equipamento. Esse equipamento, também chamado tow-fish, pode ser rebocado próximo à superfície (shallow-tow) ou junto ao fundo marinho (deep-tow). A diferença entre eles está na frequência de operação, como mencionado antes, o que vai definir o tipo do levantamento: regional com capacidade de varredura de alguns quilômetros para cada lado (shallow) ou local com varredura máxima total da ordem de 1500 m (deep).

Os sonares de varredura lateral (Side Scan Sonars) emitem esses dois feixes acústicos com baixo ângulo de abertura (da ordem de 30°), proporcionando uma absorção menor pelo fundo marinho da energia emitida pelos sensores e um alcance maior dos feixes. Parte dessa energia emitida é dispersa e refletida para regiões onde os sensores não conseguem captar, porém uma parte dessa energia é refletida no alcance do sensor (Backscatter, ou retro-espalhamento), e este a utiliza para gerar uma representação da superfície ensonificada.

Diversos fatores controlam o nível do sinal de Backscatter [16], dentre eles pode-se destacar:

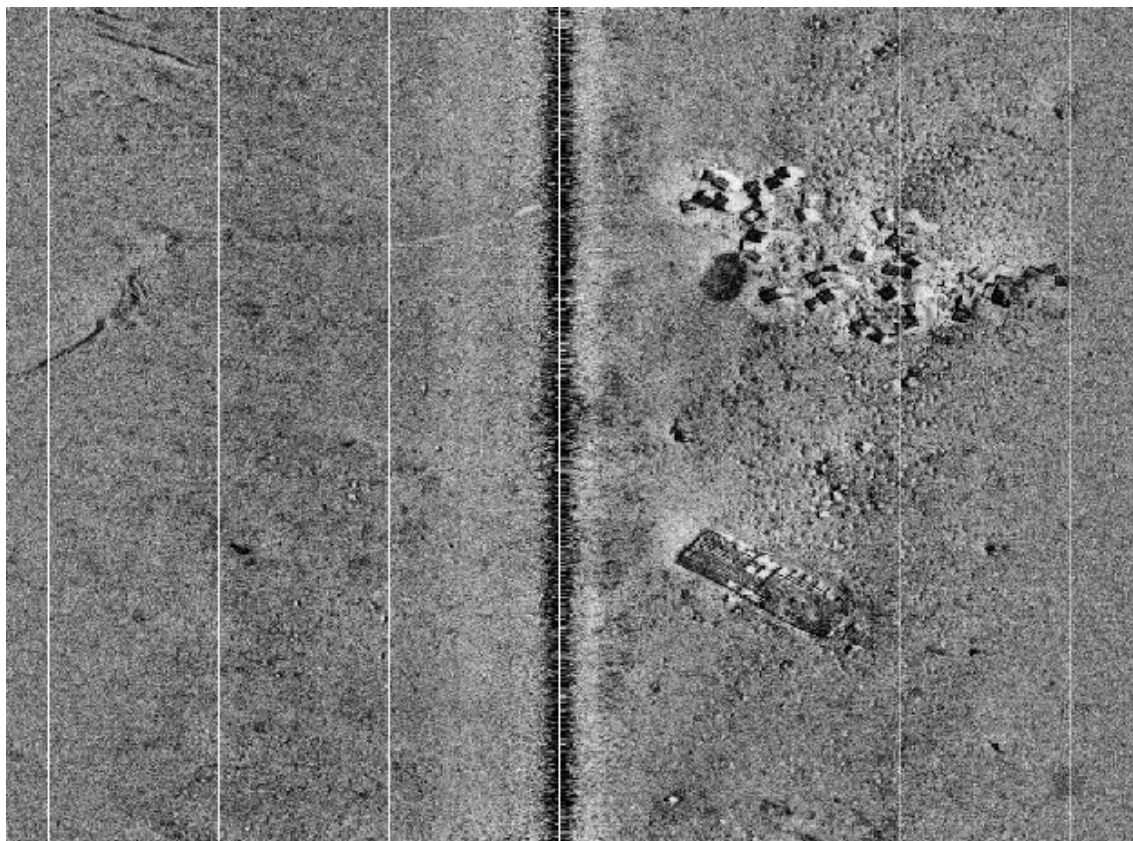
- O ângulo de incidência do sinal (ângulo formado entre o feixe incidente e a componente normal ao ponto ensonificado) que depende da altura do transdutor em relação ao fundo e também da inclinação do fundo marinho.
- A micromorfologia do fundo marinho, que, por exemplo, faz refletir de maneira distinta um sinal que alcança sandwaves ou mini-dunas submarinas, intensificando o sinal nas cristas e atenuando-o nas bases.

- Textura dos sedimentos ensonificados, granulometria, rugosidade. Quanto mais fino maior o espalhamento proporcionado, logo menor a intensidade do sinal retornado.
- Contraste de impedância acústica.

A impedância acústica é uma propriedade que relaciona a velocidade de propagação do som com a densidade do meio onde a onda está se propagando. Ela equivale ao produto da velocidade pela densidade. A densidade dos sedimentos é função de suas composições mineralógicas, porosidade e grau de saturação. Como o contraste entre as densidades dos sedimentos marinhos e a densidade da água do mar é marcante, tem-se uma notória alteração na impedância acústica. Essa diferença de impedância acústica é conhecida por coeficiente de refletividade. Quanto maior for o coeficiente de refletividade, maior será a energia retornada. Daí pode-se concluir que um sedimento mais compactado (menos saturado) terá uma refletividade maior do que um mais saturado (argila recém depositada, por exemplo), ou seja, o levantamento sonográfico permite a visualização da distribuição superficial dos sedimentos do fundo marinho.

Correlacionar propriedades acústicas com sedimentos superficiais é uma prática que teve início na década de 70 foi documentada por diversos trabalhos como *Apud* Hamilton (1971), Bachman (1982) e Otta (2005) [16] e está se tornando uma ferramenta cada vez mais presente no mapeamento oceânico. Inicialmente a classificação do fundo era puramente subjetiva, correlacionando amostras com o mosaico gerado pelas diferenças do sinal de Backscatter. Hoje, técnicas de inferência estatística tentam classificar os sedimentos com base nos parâmetros estatísticos extraídos do Backscatter, e alguns modelos já foram propostos.

Para esse trabalho a sonografia tem importância, pois certos tipos de fundo e feições apresentam riscos aos dutos. Fundos compostos por sedimentos não-coesivos, passíveis de erosão por ação de correntes, fundos calcários, zonas de reservas coralíneas, afloramentos rochosos, regiões com destroços, lixo, construções (facilities) abandonadas, são feições e padrões passíveis de reconhecimento pelos sonares sidescan e não são boas opções para a passagem de dutos. Figura 2.



**Figura 2 –Mosaico de Side scan mostrando containers e uma balsa no fundo do golfo do México. A linha preta no centro da imagem é a derrota (direção da proa) do peixe rebocado (towed fish)
Fonte: Golfo f México Marine debris Project NOAA**

3.1.3 Sísmica rasa – Sub Bottom Profilers

A sísmica de reflexão possui um amplo espectro de escalas, podendo ser utilizada para sondar desde a crosta continental até alguns poucos metros da subsuperfície. O que varia de um método para o outro é a potência da fonte (tipo da fonte), frequência de operação (baixas frequências para grandes profundidades, e altas para baixas profundidades) o que determinará a resolução da aquisição (dezenas de metros para as baixas frequências e alguns centímetros para as altas frequências), e arranjo dos receptores (hidrofonos). Para esse trabalho o método indireto, ativo, de reflexão sísmica interessante é o de baixa profundidade (Alta frequência), uma vez que para o estudo de estabilidade de camadas superficiais não é necessário um levantamento tão profundo.

Perfiladores de sub-fundo (Sub bottom profilers), têm uma operação bastante parecida com a batimetria multifeixe; são rebocados e carregam transdutores que

emitem e captam a onda sonora emitida. Sua frequência de operação varia de fabricante para fabricante, mas é da ordem de 6,5 kHz. Alguns deles utilizam a tecnologia CHIRP, sendo capazes de monitorar a amplitude e a frequência do sinal emitido para posterior comparação com o sinal recebido, a fim de se eliminar ambiguidades quanto ao sinal recebido. Essa técnica de aquisição de sísmica de reflexão dispensa o processamento sísmico, o que agiliza o estudo e reduz seus custos.

A perfilagem de subsuperfície para a avaliação dos riscos aos dutos será importante nesse trabalho [21], pois com ela diversas feições que expõem risco aos dutos como hidratos de gás, falhamentos ativos ou pretéritos, geologia das camadas, diapirismos de sal e lama, entre outros pode ser mapeada. Além disso, o perfil de subsuperfície traz informações acerca da estabilidade da área sondada, pois com o registro estratigráfico é possível saber sobre deslizamentos pretéritos, ação de correntes de fundo, dinâmica sedimentar e com isso pode-se inferir frequência de ocorrência dos mesmos, o que é importante para estimar a vida útil de um duto e até a viabilidade do projeto.

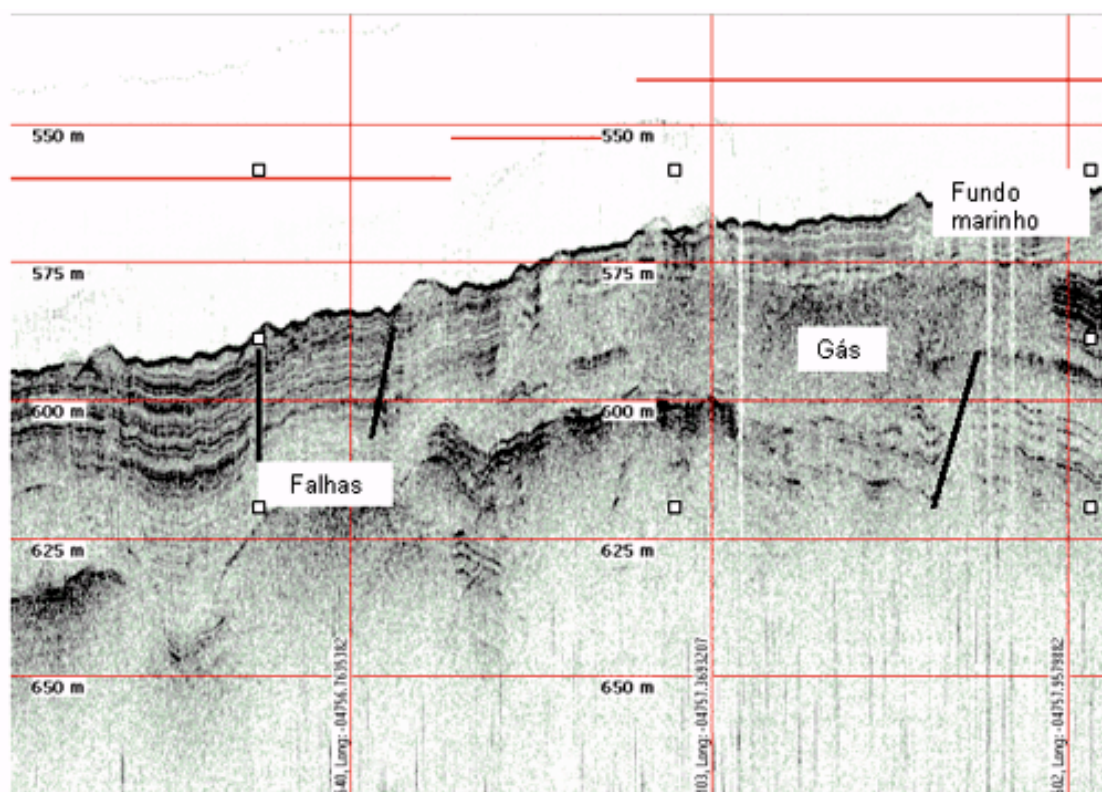


Figura 3 - Registro de 3,5Khz obtido no talude continental. O registro mostra a presença de falhas e gás nos sedimentos superficiais (Apud Ayres Neto, Cortesia PEG – Petroleum and environmental Geo-Services)

3.2 Grafos

A Teoria dos Grafos é o ramo da Matemática que estuda as relações entre objetos de um determinado conjunto. O grafo, elemento fundamental da teoria, é uma estrutura composta por dois conjuntos, um de pontos (vértices) e outro de arestas que conectam esses vértices. A teoria dos grafos é atribuída a (Euler, 1736) pela solução do problema das sete pontes de Königsberg. Pode-se entender o grafo como a generalização de uma estrutura de árvore, que por sua vez é uma generalização da estrutura caminho. Um caminho é uma sequência de vértices tal, que de cada um dos vértices existe uma aresta para o vértice seguinte. Uma árvore, como as árvores de decisão da matemática combinatória, são caminhos que se bifurcam, são caminhos degenerados. Árvores com ciclos ou degeneradas, são grafos. Existem dezenas quicá centenas de classificações de grafos, porém, para esse trabalho, as mais importantes são listadas a seguir (além das classificações dos grafos seguem algumas definições importantes para classificá-los):

- Dígrafos: São grafos orientados, as arestas deixam de ser representadas por retas e passam a ser representadas por setas, indicando o sentido semântico de conectividade entre os vértices. É dotado de uma origem e um destino.
- Grafo ponderado ou balanceado: Atribui-se um peso, ou valor a cada aresta.
- Laço: Em um grafo ou em um dígrafo, é uma aresta cujas terminações estão no mesmo vértice.
- Grau de um vértice: Número de arestas que incidem em um vértice.
- Grafo nulo: Grafo cujo conjunto de vértices é vazio.
- Grafo vazio: Grafo cujo conjunto de arestas é vazio.
- Grafo Trivial: Grafo que possui apenas um vértice e nenhuma aresta.
- Grafo regular: Grafo onde todos os vértices têm o mesmo grau.
- Ciclos: Caminho que começa e termina no mesmo vértice. Ciclos de comprimento 1 são laços. Ciclos simples tem o comprimento (número de arestas pela qual se passa) de pelo menos 3, e o vértice inicial (de onde o caminho parte) só aparece mais uma vez como vértice final

(onde o caminho termina), e nenhum outro vértice do caminho se repete.

- Grafo Acíclico: Grafo que não contém ciclos simples.
- Caminho simples: Nenhum dos vértices do caminho se repete.
- Custo de um caminho: Em um grafo balanceado é a soma dos custos das arestas atravessadas.
- Caminho Euleriano: É o caminho que usa cada aresta exatamente uma vez.
- Caminho Hamiltoniano: É o caminho que visita cada vértice uma vez.
- Vértice de corte: Vértice cuja remoção desliga o grafo.
- Ponte: Aresta cuja remoção desliga o grafo.
- Grafo conexo: É possível estabelecer um caminho entre quaisquer dois vértices.
- Vértices adjacentes: Existe uma aresta que conecta esses dois vértices.
- Vizinhos: Subconjunto do Conjunto Vértices que contém todos os vértices adjacentes a ele.

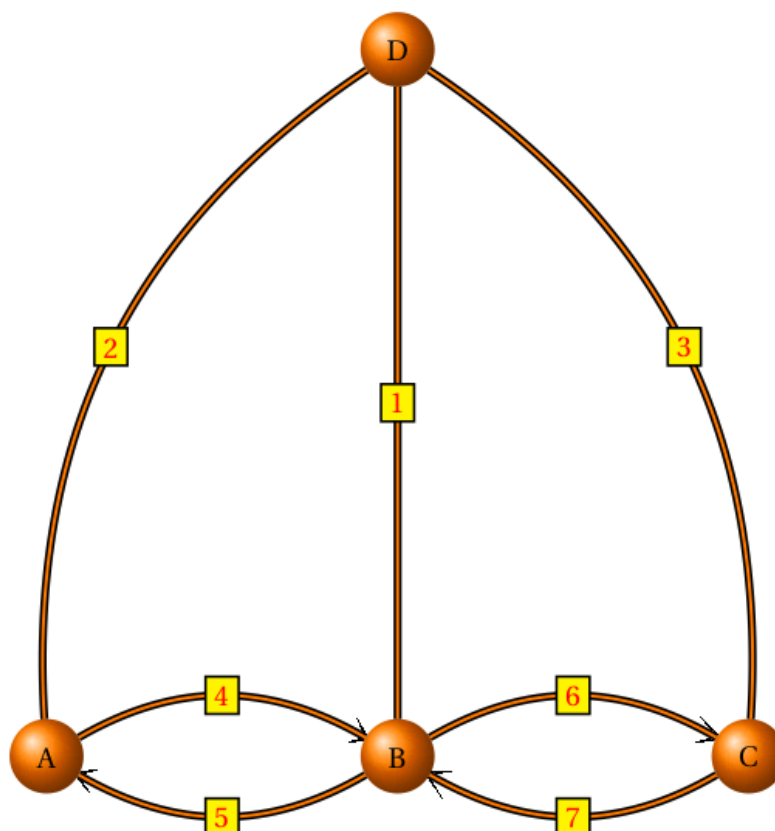


Figura 4 - Exemplo de Grafo modelando o problema das sete pontes de Krönigsberg, enfrentado por Euler em 1736. Fonte da figura: Altermundus.com

O Grafo da figura 4 modela o problema enfrentado por Euler em 1736, na cidade de Krönigsberg atual Kaliningrado, Rússia. A cidade era recortada por rios que a dividiam em quatro províncias. Para resolver o problema de conexão existiam sete pontes. O problema proposto era atravessar todas as pontes sem repetir nenhuma. Euler provou que não existia solução, pois não havia um número par de caminhos (um para entrar e outro para sair); era preciso que houvesse dois pontos de onde saísse um número ímpar de caminhos. No caso, as pontes são modeladas como arestas e os pontos que representam as regiões a ser conectadas são os vértices. Para exemplificar as classificações e definições supracitadas, há um conjunto V representando os 4 vértices $V = \{A, B, C, D\}$ e um conjunto E representando as 7 arestas $E = \{(B,D),\{A,D\},\{C,D\},\{A,B\},\{B,A\},\{B,C\},\{C,B\}\}$. O Grafo não é regular, pois, por exemplo, o vértice B tem grau 5 enquanto o vértice A tem grau 3. Não existem laços. É um exemplo de ciclo simples o ciclo formado pelos vértices CDB com as arestas 3,1,6.

Não existem caminhos Eulerianos, mas é possível estabelecer um ciclo Hamiltoniano: AB-BC-CD-DA. Não existem vértices de corte. É um grafo conexo. A é adjacente a B e o conjunto vizinhos de A é formado pelos vértices B e D. $Vizinhos_A = \{B,D\}$.

3.3 Riscos

O Risco é um evento ou condição incerta que se ocorrer provocará um efeito positivo ou negativo nos objetivos do projeto [17]. No caso dos lançamentos dos dutos esse efeito será sempre negativo, gerando perdas, atrasos ou até mesmo fatalidades. Esta definição de que o risco pode ter efeito positivo se dá em outras áreas como por exemplo o mercado financeiro, onde o risco pode valorizar uma transação.

A diferença entre o risco e a incerteza é que a incerteza é uma situação para a qual não se pode associar qualquer tipo de distribuição de probabilidades, ou seja, uma decisão poderá chegar de vários resultados diferentes cujas probabilidades são desconhecidas [11]. Já o risco é uma situação que pode associar a um resultado uma distribuição de probabilidades.

Mensurar riscos, é o desafio da gerência de projetos. Conhecendo-os, pode-se mitigá-los e com isso executar o lançamento de dutos com mais segurança e confiabilidade. Riscos raramente são eliminados, mas podem ter seu impacto e frequência diminuídos.

Os Riscos em geral tem três componentes:

- O evento em si (fonte / causa e efeito);
- A probabilidade associada de ocorrência (causa);
- O impacto no projeto (efeito);

A partir destas três componentes foram derivadas diferentes metodologias para se calcular o risco total associado a um projeto. Normalmente, a análise de riscos é feita por um conjunto de especialistas e eles seguem alguns passos padrões para realizá-la:

- Identificação dos riscos através de analogia com projetos anteriores e identificação de novos riscos através de Brainstorming;
- Uso de uma estrutura que possibilite sua análise, com categorização e Hierarquização;

- Análise qualitativa (importância e prioridade dos riscos) e quantitativa (quantificar o impacto dos riscos no projeto) dos riscos;
- Uso da Metodologia ALARP (deixar o risco As Low As Reasonable Possible – Tão baixo quanto possível) para mitigação dos mesmos.

3.4 Fuzzy

A Lógica Fuzzy é baseada na habilidade que os homens têm em tratar informações inexatas, imprecisas ou incertas. Nosso mecanismo de raciocínio, é impreciso e faz uso de expressões que de alguma forma qualificam as variáveis envolvidas no problema, tais como: freqüentemente, muito, pouco, etc. e que não se identificam, diretamente, com a forma binária (falso, verdadeiro, 0 e 1).

Assim, a Lógica Fuzzy é baseada em palavras, não em números, os valores verdades são expressos lingüisticamente: quente, frio, longe, perto. O uso de variáveis lingüísticas simplifica a solução de problemas e conseqüentemente, proporciona a construção rápida de sistemas de inferência. Ela faz uso das probabilidades lingüísticas, como: provável, improvável, que são interpretados como números Fuzzy e manipulados pela sua aritmética.

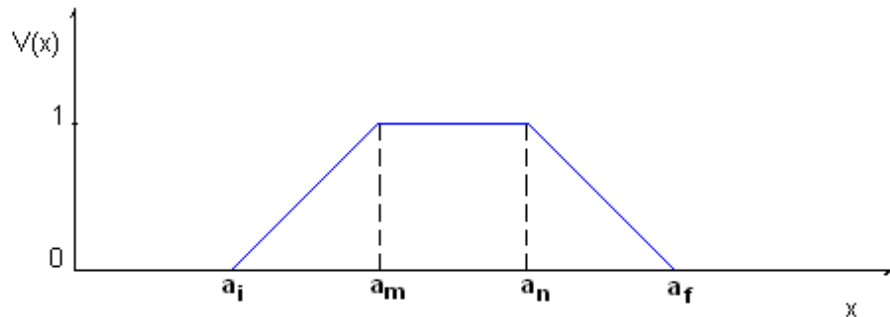
A lógica fuzzy manuseia todos os valores entre 0 e 1 (falso e verdadeiro) através de alguns padrões de números fuzzy, como: números triangulares, trapezoidais, sigmoidais ou curvas de distribuições de probabilidades, todos originados por funções de pertinência (membership functions, que correlacionam os conjuntos de possibilidades de entrada ao de probabilidades [0,1] de saída).

Nesse projeto utilizou-se o padrão trapezoidal:

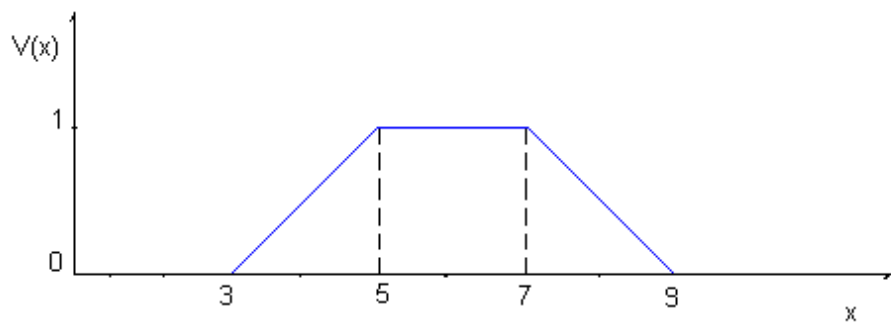
Equação 2

Função de pertinência (Membership function) para números trapezoidais

$$\text{Valor número fuzzy } V(x) = \begin{cases} (x-a_i) / (a_m - a_i), & \text{para } a_i \leq x \leq a_m \\ 1, & \text{para } a_m \leq x \leq a_n \\ (a_f - x) / (a_f - a_n), & \text{para } a_n \leq x \leq a_f \\ 0, & \text{para todos os outros valores.} \end{cases}$$



Exemplo nº fuzzy = (3,5,7,9) que representa: um número entre 3 e 9 com maiores chances de ser entre 5 e 7.



É possível perceber que para se ter um padrão triangular, basta fazer $a_m = a_n$.

A partir do método de inferência, ou seja, utilizando-se do conhecimento de especialistas para se desenvolver um raciocínio dedutivo, modelam-se as incertezas dentro de um processo para tomada de decisão, fundamentado na existência de

conexões entre causa e efeito, através de regras, naturais ou não, denominadas “regras de inferência”.

Para compor esse conjunto de regras, são realizadas diversas entrevistas com especialistas do setor investigado visando transformar o conhecimento prático desses profissionais em regras de inferência.

A inferência “Fuzzy” é o processo pelo qual se obtém as saídas do sistema. Assim um vetor de variáveis de entrada, aciona as regras (proposições fuzzy) e definem a situação (forma) da variável de saída correspondente. Diversos processos de inferência Fuzzy podem ser usados para se obter a saída do sistema, sendo que o mais comumente usado é o método MIN-MAX.

A função MIN é usada para operar o interior das regras (conectivo E (AND Booleano)) e a função MAX para efetivamente compor os resultados. Assim para um dado vetor de entrada que alimenta o sistema é feita uma avaliação do grau de compatibilidade de cada componente de entrada com os conjuntos Fuzzy correspondentes ao seu domínio.

Nesse caso a função MIN valendo-se dos “antecedentes” produz um limite de ativação para o “consequente” da regra em estudo. Utilizando-se um processo de truncamento no conjunto Fuzzy presente no “consequente” são produzidas as ponderações de cada “consequente” por seu limite de ativação. Aplicando-se a função MAX (conectivo OU) no conjunto dos consequentes, devidamente ponderados e agregados, chega-se ao conjunto Fuzzy resultante.

Construídos os conjuntos Fuzzy para todas as variáveis de entrada e de saída, com seus respectivos adjetivos e domínios, de acordo com informações prestadas pelos especialistas da área. E estabelecendo-se às regras de inferência que definem o problema, obtém-se então a resposta para um determinado conjunto de variáveis que acionam o sistema.

No final, como as variáveis de entrada foram “fuzzificadas”, é necessário realizar a “defuzzificação” nas variáveis de saída, que pode ser feito usando-se o

método dos máximos, da média dos máximos e o Método do Centróide o mais usado, inclusive por este trabalho.

4 METODOLOGIA

O problema de se determinar a rota de menor risco para os dutos é de grande complexidade e para a sua solução a técnica da computação conhecida por dividir para conquistar foi utilizada. Nela o problema de difícil solução é dividido em quantos problemas menores forem necessários desde que estes sejam de simples solução. Logo, para resolver o problema de se determinar a rota mais segura (ou de menor risco total) para o lançamento de um duto submarino, foi sugerida a solução da sequência de problemas mais simples: 1- identificação das zonas de risco na área do lançamento e modelagem da área de estudo, 2- parametrização dos riscos com categorização dos mesmos e adoção de um sistema de inferência, 3- avaliação dos riscos pelos especialistas em lançamento, 4- cálculo da magnitude do risco associado a cada trecho baseado no sistema de inferência Fuzzy e 5- descoberta da melhor rota baseado nos riscos calculados e estrutura modelada.

É evidente que a solução de todas as etapas foge ao contexto de um trabalho de graduação, dada a complexidade e o tempo exigido para execução das mesmas. Contudo, como existe o interesse pela continuidade desta pesquisa em um trabalho de mestrado, algumas partes fundamentais do processo foram implementadas e estudos sobre as outras já foram iniciados. Estas etapas são descritas a seguir:

4.1 Identificação das zonas de risco na área do lançamento e modelagem da área de estudo

O primeiro trabalho foi um grande levantamento sobre quais riscos poderiam influenciar o lançamento dos dutos submarinos, e para tal, vários estudos de casos realizados por empresas que lançam dutos foram visitados. Através deles trinta riscos foram identificados. São eles:

I – Riscos associados ao lançamento de dutos em áreas costeiras e próximas a portos.

Nestas áreas o trânsito de embarcações a baixas profundidades e a possibilidade do arrasto de âncoras coloca em risco dutos mesmo que estes sejam enterrados. A prática de se enterrar um duto mitiga o risco, mas não o elimina.

II – Riscos associados a grandes profundidades.

Às grandes profundidades os dutos estão expostos a condições extremas de temperatura (muito baixas) e pressão (muito alta), logo o tipo de duto utilizado é diferente e seu custo é maior e a manutenção deste também é mais complexa [5]. O custo parece ser a variável mais impactada neste caso, estas foram lançadas como risco, até porque uma possível ação de reparo a alguma falha seria de difícil execução e demandaria tempo e recursos além de causar impacto a uma biota muito específica que é mais frágil e levaria mais tempo para se restabelecer podendo inclusive levar à sua extinção (o que aumenta a severidade do risco).

III – Riscos associados a áreas passíveis de congelamento.

Áreas a altas latitudes têm este risco associado; o tipo do duto lançado, assim como as grandes profundidades, é específico e o motivo de lançá-la como risco é análogo ao II [12].

IV – Riscos associados a áreas termais e Fumarolas.

Variações de temperatura levam a dilatações e contrações nos dutos. Dependendo do que está sendo transmitido esse risco pode ser maior dada a associabilidade da variação térmica com o material que viaja no duto. Fumarolas também são consideradas áreas ambientalmente protegidas devido à biota específica que ali habita. Seus gases possuem diversos elementos químicos que podem reagir com o revestimento dos dutos trazendo riscos aos mesmos [24].

V – Riscos associados a áreas privadas.

Áreas privadas podem ser alugadas, mas como a área pode mudar de dono, isto automaticamente se configura um risco.

VI – Riscos associados a reservas ambientais.

Áreas ambientais podem ser utilizadas desde que se observe o que a legislação ambiental local diz a respeito, contudo o impacto em uma área ambiental sempre terá uma repercussão muito grande e estas áreas são normalmente evitadas, mas no fundo a decisão de se lançar ou não em uma área ambiental é fruto do cálculo de uma inequação, onde de um lado entram as variáveis de custo total do duto e do outro a conjunção: possível impacto na imagem e multa ambiental associada. Por uma conduta mais ambientalmente amigável é sugerido que se evite áreas de reserva ambiental.

VII – Riscos associados a áreas de ação de correntes litorâneas e de contorno.

Áreas com ação de correntes representam risco aos dutos basicamente por duas componentes: a primeira é que o duto estará exposto a esforços constantes de alta magnitude devido à massa d'água envolvida, o que comprometerá sua fixação e manutenção [7]. E a segunda é que estas correntes podem carregar elementos que podem impactar o revestimento dos dutos.

VIII – Riscos associados a áreas próximas a plataformas.

Áreas no entorno de plataformas (as de presença fixa) podem ser dadas como de risco, pois além de contarem com o lançamento de detritos que podem impactar o duto, estão sujeitas as acidentes [12].

IX- Riscos associados a áreas próximas a Foz de rios.

Áreas próximas a foz de rios podem ser dadas como de risco pela mobilidade inerente a elas e pelos mesmos motivos apresentados em VII.

X – Riscos associados a gradientes elevados.

Na verdade, o real risco associado a gradientes elevados existe quando se opta pela direção transversal a este gradiente, pois nesta configuração o duto fica exposto a componente gravitacional o que inviabiliza seu posicionamento [22].

XI – Risco associados a outras *facilities* presentes no fundo.

Raisers, dutos e outras *facilities* (equipamentos de transmissão de óleo e gás em geral) representam risco, pois não é aconselhável lançar um duto sobre eles [13]. Muito embora seja comum na decisão de melhor caminho passar por uma área previamente estudada onde já se exista um duto passado, para que o estudo anterior seja aproveitado e o novo duto seja lançado ao lado do existente, a prática de se cruzar uma linha é normalmente evitada.

XII – Risco associados a lixos e embarcações naufragadas, soçobradas.

Estas áreas representam riscos, pois diminuem os pontos de apoio do duto, são obstáculos a serem contornados e no caso dos lixos representam risco, entre outros, de instabilidade gerada pelo metano originado na decomposição do lixo.

XIII – Riscos associados a Cânions, escarpas e Ridges.

Procura-se evitar atravessar cânions e Ridges com dutos para evitar que estes fiquem em balanço. Escarpas também são evitadas. Além disso, cânions são caminhos preferencial de transporte de sedimentos da plataforma continental para mar profundo e deslizamentos e correntes de turbidez são relativamente comuns [14].

XIV- Riscos associados à perfuração de poços (blowouts e craterings).

Muito embora o duto esteja provavelmente indo em direção a um poço, a área ao redor deste é dada como de risco exatamente pelas possibilidades de craterings e blowouts gerados pelas perfurações, o que agregariam risco por alterar as condições de estabilidade do fundo. Logo, evita-se passar próximo a outros poços quando se lança um duto [10].

XV – Riscos associados ao fluxo de calor próximo a poços.

São consideradas áreas de risco pelos mesmos motivos apresentados em XIV e IV.

XVI – Riscos associados à depleção dos reservatórios.

A depleção do reservatório petrolífero pode levar a uma alteração do stress do fundo, por isso áreas projetadas em superfície da influência de reservatórios são dadas como de risco.

XVII – Risco associados a rotas de navegação

Uma vez que o duto é lançado, ele começa a configurar nas cartas náuticas e automaticamente é evitado pelas âncoras das embarcações. Contudo no momento em que se lançará o mesmo, é observado se a área já é rota de navegação para que se a evite, devido a objetos que possam ser lançados das mesmas e suas respectivas âncoras.

XVIII - Riscos associados à operação dos dutos.

Este é um risco antrópico relativo ao manuseio dos dutos que decorre da condição possível de erro humano [5].

XIX – Riscos associados a mecanismos geradores de pressão de poro.

A pressão de poro, maior que a pressão hidrostática, é o resultado da combinação de esforços de direção normal contrárias a gravitacional oriundas nos poros das rochas sedimentares superficiais capazes de desestabilizar o fundo marinho [14]. Um dos mecanismos da geração de pressão de poro é a conversão de argilas ricas em esmectita em argilas ricas em Iilita quando a rocha passa pela zona de 60°C a 200°C. Neste processo a argila perde a capacidade de reter água, e a rocha libera muita água, liquefazendo o solo. Estudos geotécnicos podem trazer a informação se o solo é rico em argila com esmectita e este fator de risco pode ser mapeado para que um duto não seja lançado sobre um solo e possa com sua pressão exercida alterar o gradiente geotérmico do fundo corroborando para a transformação da esmectita em Iilita.

XX - Riscos associados à rápida sedimentação de finos.

A rápida sedimentação de finos também leva a uma alteração na pressão de poro [14], e isto também acarreta em um risco geológico mapeável através de estudos geotécnicos.

XXI – Riscos associados à alteração rápida do gradiente.

O estudo da dinâmica sedimentar do local onde se deseja lançar o duto é fundamental, pois ele pode elucidar áreas onde uma rápida erosão da base ou forte deposição no topo de feições podem alterar seu gradiente e com isso gerar riscos ao lançamento dos dutos.

XXII – Riscos associados a Hidratos de Gás.

A presença de hidratos de gás representa riscos aos dutos devido a instabilidade do fundo que pode ser gerada com o derretimento dos mesmos (ou sua explosão) e o aumento da pressão provocado pelo lançamento do duto pode ser um mecanismo disparador dessa mudança de estado [15]. Áreas em que se conhece a presença dos Hidratos de gás devem ser marcadas como áreas de risco.

XXIII – Riscos associados a Gás seeps e fluxo fluído ativo.

Áreas com escapes de gases e outros fluxos fluídos devem ser evitadas pela possibilidade de reação dos revestimentos dos dutos com os elementos químicos dos gases, além da instabilidade regional onde eles se apresentam. Soma-se a isso o fato de não se poder prever a quantidade de material extravasado pelo fluxo fluído ativo o qual mesmo em pequenas quantidades seria catastrófico ao duto.

XXIV – Riscos associados à diápirismos e vulcões de lama.

Áreas com presença de diápiros de lama ou sal são áreas instáveis que representam riscos aos dutos devido a sua mobilidade tectônica [24]. Vulcões de lama também representam risco por motivos análogos ao XXIII.

XXV – Riscos associados à atividade sísmica.

A atividade sísmica é imprevisível em magnitude, tempo de ocorrência, duração e localização precisa, contudo a ocorrência dos sismos é mais provável em certas regiões em detrimento de outras. Como a atividade sísmica além de por si só já poder ser catastrófica aos dutos ela pode levar ao desencadeamento de outros riscos por

reativação de falhamentos e geração de movimentos de massa submarino entre outros [6].

Regiões com grandes aportes sedimentares, represamentos e ou perto de regiões de conhecida atividade tectônica devem ser mapeadas como regiões de atividade sísmica e representam risco ao lançamento de dutos.

XXVI – Riscos associados a solos colapsáveis ou contratíveis.

O tipo de fundo agrega ou não riscos. Solos colapsáveis ou contratíveis podem levar a um deslizamento retrogressivo e gerar riscos aos dutos. O solo preferível para se assentar o duto é um solo argiloso para que 20% dele penetrem o mesmo ao ser assentado [14].

XXVII – Risco associado ao lançamento de dutos em áreas calcáreas.

Áreas calcáreas representam risco aos dutos por deixarem os mesmos com vãos livres, já que o duto irá se apoiar tangenciando concreções calcáreas. Estas áreas devem ser evitadas também por questões ambientais.

XXVIII- Riscos associados a afloramentos rochosos.

Pelo mesmo motivo do XXVII.

XXIX – Riscos associados à falhamentos.

Falhas quando ativas representam um grande risco aos dutos, pois em segundos podem alterar toda a configuração do assoalho marinho, estudos geotécnicos são realizados para cálculos de fatores de segurança e tempo de inatividade de falhas. Quando um falhamento ativo é identificado esta área de sua influência deve ser caracterizada como área de risco [6].

XXX – Riscos associados à existência de Ripples gigantes.

Áreas com Ripples gigantes (fundos com dunas arenosas de amplitude métricas a dezenas de metros) devem ser evitadas por colocar o duto em balanço.

Uma vez conhecidos os riscos possíveis pode-se dividir a área do lançamento do duto em regiões onde cada risco atuaria, desde que existam os estudos geofísicos que gerem as informações necessárias para as classificações, como, por exemplo, a ecobatimetria, sonografia, perfilagem de subfundo (sísmica monocanal), ensaios geotécnicos, etc.

Neste ponto do projeto uma decisão foi tomada, a de focar nas soluções dos passos posteriores já que diversos softwares proprietários existem para visualização e manuseio de arquivos de imagem georeferenciadas. A falta de um padrão público e os problemas encontrados serão descritos na seção Resultados.

Esta região do lançamento do duto deve ser gridada. Gridar uma região é seccioná-la em nós regularmente espaçados. Estes nós contêm informações de posicionamento global (latitude, longitude).

A modelagem computacional adotada deve ser a de uma estrutura de dados que gere um grafo, onde os vértices sejam nós do grid e as arestas que unam nós adjacentes representem os custos (riscos) existentes entre eles. A ferramenta Spatial Analyst da Suíte ArcGIS® já realiza a gridagem e associação de um grafo para a área com base em arquivos Rasters que representem custos Figura 5.

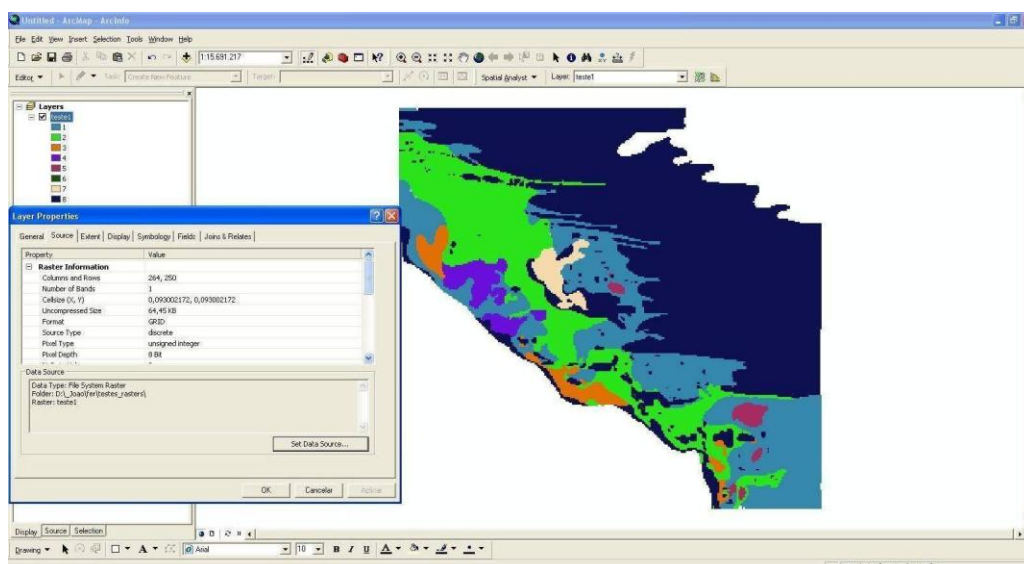


Figura 5 – Exemplo de Raster no ArcGIS®, uma matriz representando uma imagem de sedimentação da plataforma Nordeste brasileira com 264 colunas, 250 linhas, formato GRID® e profundidade de 8 bits, referenciada no sistema WGS 84 (extraído de REMAC, vol. V)

Rasters são estruturas de dados matriciais onde sua unidade fundamental é o pixel o qual é capaz de armazenar um valor inteiro (normalmente 8 bits, 256 possibilidades).

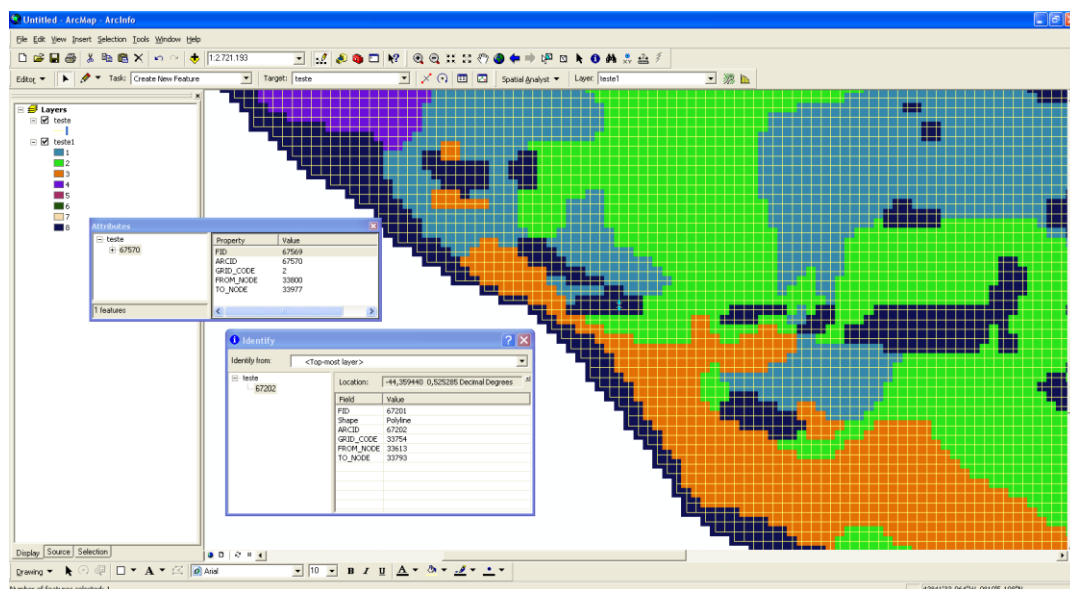


Figura 6 – Exemplo de grafo (87695 arestas [cada 4 arestas formam um dos quadrados em amarelo] para aprox. 6 milhões de km²) gerado com o Spatial Analyst ® a partir da gridagem do Raster exibido na figura XX

Arquivos de imagem são o suporte das estruturas do tipo Rasters, e estas imagens podem ser de domínio público como as GeoTIFF, PNG, ou de privado como ADF ou GISTIFF. Estes Rasters também podem ser, por exemplo, gerados a partir de Shapefiles ou Feature class de Personal Geodatabases (FCPG) ® através da mesma ferramenta Spatial Analyst da suíte ArcGIS®. Como já existe um software que realize esta etapa, nesse primeiro momento optou-se por utilizá-lo ao invés de se gerar um código para realizar a mesma tarefa. Cada risco pode ser mapeado espacialmente para um FCPG, e posteriormente rasterizado. Este processo inclusive pode na maioria dos casos ser automatizado gerando a possibilidade de desenvolvimento de diversos aplicativos que tenham como entrada um mapa e devolvam como saída Rasters que representem áreas de risco mapeadas, com base em estudos de análise de imagens por exemplo, pode-se mapear cânions e Ridges. Um exemplo pôde ser feito com a própria ferramenta Spatial Analyst que gera um Rasters contendo altos gradientes regionalizados a partir de FCPG contendo curvas de nível.

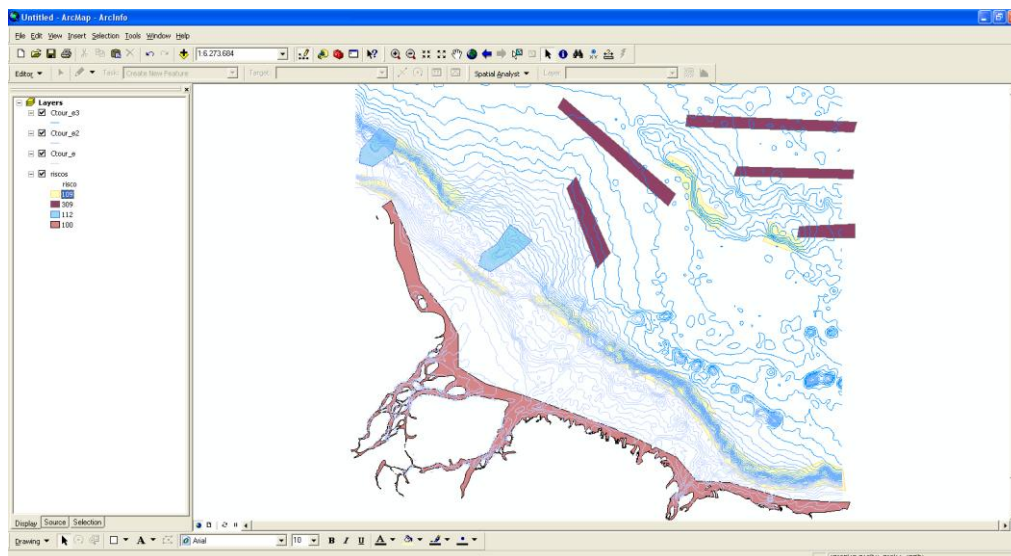


Figura 7 – Alguns riscos mapeados com o ArcGIS®. Feature Classes gerados para representar o risco de áreas costeiras (100), cânions (112), Falhamentos (309) e transversais a taludes (109), em um exemplo hipotético gerado a partir de shapefiles de linha de costa Norte Brasil e curvas de nível cedidas pelo projeto PROEMPLAC/DHN

Outro exemplo foi o de identificação de uma zona de risco costeira Figura 7. Nesse passo é preciso discretizar cada risco, ou seja cada risco precisa ter um identificador único. Ao final do passo 1, a estrutura (grafo) que representa a área já foi gerada e ela será ponderada (suas arestas serão preenchidas com os custos calculados ao final do passo 4, que foi o passo ao qual se deu foco neste trabalho).

4.2 Parametrização dos riscos com categorização dos mesmos e adoção do sistema de inferência

Como cada risco precisa de um identificador único, gerou-se uma tabela com um número inteiro para cada risco. Além disso, seguindo estudos de gerenciamento de risco em projetos, pode-se perceber que os riscos se relacionam entre si e que essa relação se dá de forma Hierárquica. A entidade que relaciona os riscos segundo a sua importância de forma probabilística é denominada Fator Índice (Factor Index – FI). Ela será melhor descrita na próxima seção. Como AHP (Analytic Hierarchy Process - Processo Analítico Hierárquico) [4] foi a técnica de modelagem utilizada para a avaliação dos riscos e relacionamento entre os mesmos neste projeto, foi preciso

categorizar os riscos segundo a sua natureza. Três categorias foram propostas: Riscos Ambientais, Riscos Antrópicos e Riscos Geológicos.

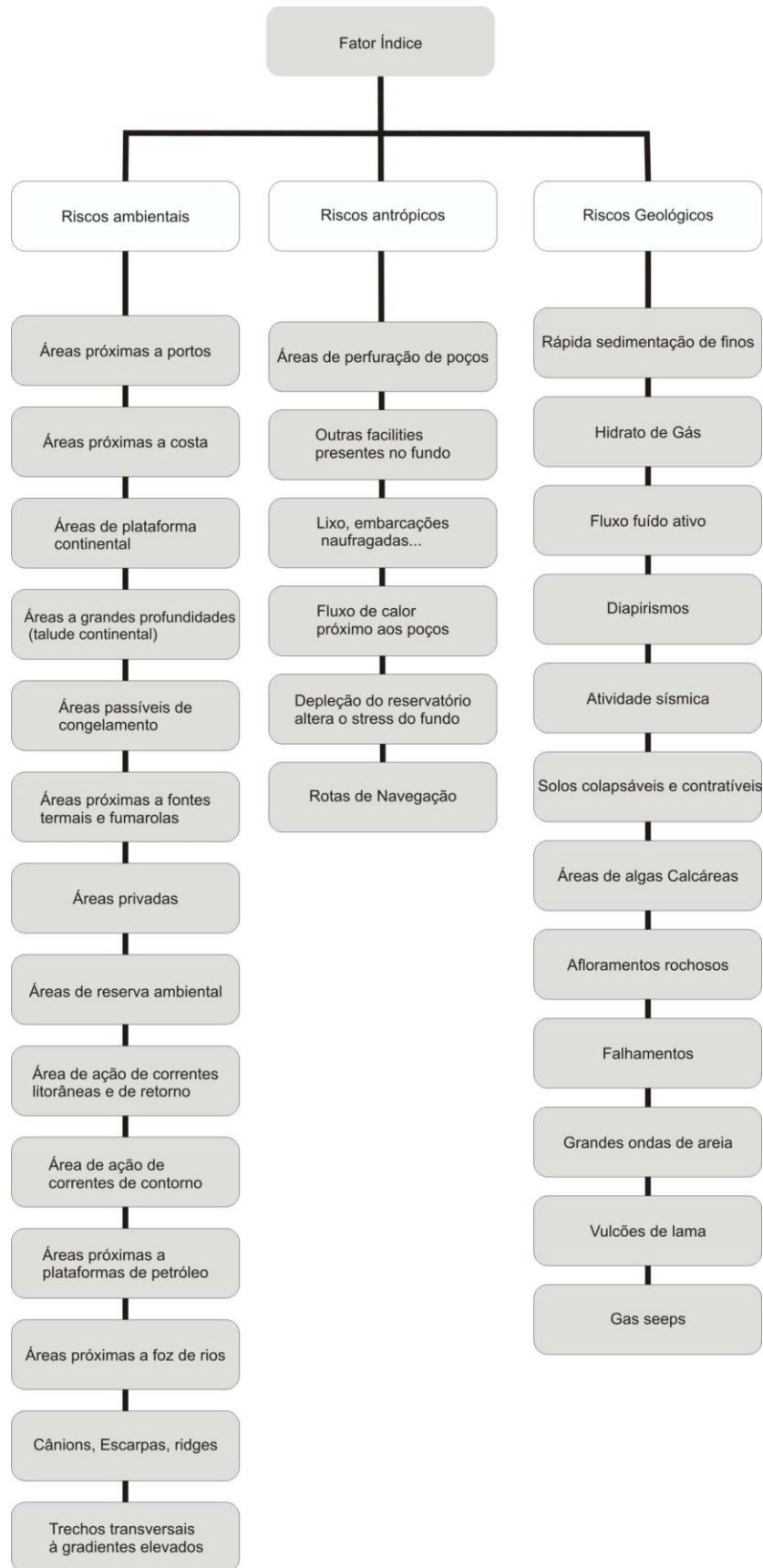


Figura 8 – Árvore de riscos, que representa a hierarquia do Fator Índice (FI)

Os riscos segundo a sua natureza probabilística [11] também foram classificados como independentes e dependentes. Os riscos independentes não influenciam os outros, e o cálculo caso dois riscos independentes ocorram na mesma área é efetuado pelo produto dos valores individuais de cada um. Este cálculo é o mesmo, caso um risco independente ocorra com um risco dependente na mesma área, desde que a dependência evidenciada não seja entre os mesmos.

Equação 3

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B)$$

Caso um risco dependente seja identificado no mesmo local que outro cuja relação de dependência exista, então o cálculo do risco no local é dado pela probabilidade condicional e vale o produto entre o valor de um risco pela probabilidade de ocorrência deste dado que o outro ocorreu.

Equação 4

$$P(A \cap B) = P(A|B)P(B)$$

Este fato será melhor evidenciado na próxima seção, onde os riscos e suas dependências serão exibidos em uma tabela.

Nesta etapa precisou se decidir sobre o método de avaliação dos riscos, uma vez que a análise de riscos em projetos é normalmente feita em diversas iterações sempre acompanhadas por especialistas, ou de uma única vez onde todas as variáveis são analisadas de maneira macro e ao mesmo tempo. Aqui o método não poderia ser iterativo, pois a idéia é que cada aresta do grafo – ou seja, cada local entre dois nós do grid tenha seu risco calculado. E como se pode ter milhões de arestas não poderíamos ter um milhão de questionamentos, tampouco testar por métodos estocásticos como Monte Carlo ou outro que viesse a testar todas as possibilidades para cada aresta, pois o tempo computacional explodiria. Além disso, o método de Monte Carlo requer que a natureza (curva de distribuição de probabilidades do risco) seja conhecida, e para alguns casos ela não pode ser realizada. Logo a solução adotada foi gerar uma base de dados que armazenaria a opinião de diversos especialistas sobre cada risco individualmente, e a relação de dependência dos mesmos quando existisse. Para tal, lançou-se mão da lógica nebulosa (Fuzzy) para mapear as opiniões dos especialistas e

assim gerar uma informação a partir de opiniões subjetivas, de forma isenta de resquícios culturais que cada especialista pudesse ter, eliminando suas idiossincrasias. O sistema de inferência Fuzzy, já foi adotado previamente em outros trabalhos no âmbito da engenharia civil, e uma adaptação deste para a engenharia submarina é o que se propõe aqui.

4.3 Avaliação dos riscos pelos especialistas em lançamento

Um formulário relacionando cada risco possível foi estruturado para que a opinião de diversos especialistas da área fosse coletada. Algumas características diferenciam a qualidade da informação coletada, como número de anos trabalhando no lançamento de dutos, experiências em diferentes locações, formação específica e cargo ocupado. Logo os especialistas recebem pesos diferentes para suas opiniões, de forma que a opinião de um profissional que esteja começando nessa área receba um peso menor e a opinião de um profissional com vasta experiência receba um peso maior. A soma de todos os pesos totaliza 1, o que dá um caráter percentual a opinião de cada especialista.

Este formulário para captar as nuances e eliminar as influências culturais de cada opinião é respondido de acordo com o conhecimento real de cada especialista, solicitando que nenhum deles dêem uma opinião sobre o que desconhecem na totalidade. Ele pode ser respondido em termos lingüísticos como “muito”, “pouco”, “médio”, assim como por valores exatos: ex.: 7,0; 3,0. Ou números Fuzzy: por exemplo: algo como entre 3 e 5. Todas as opiniões coletadas são convertidas para números Fuzzy trapezoidais ou triangulares padronizados, segundo as funções de pertinência (Membership functions - MF) definidas de acordo com trabalhos já implementados [19].

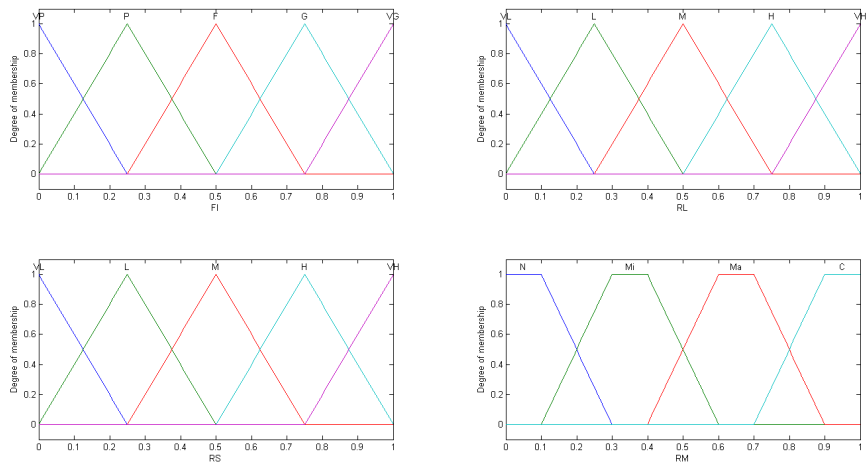


Figura 9 – Membership functions (MF) Funções de pertinência, para as 3 variáveis de entrada (RL, RS, FI) e a variável de saída RM.

Tabela 1 (anexo)

Os especialistas respondem sobre a probabilidade de ocorrência de cada risco RL (Risk Likelihood), o impacto possível causado por cada risco RS (Risk Severity) e a importância de cada risco em uma escala geral (o Fator Índice FI) como quiserem (termos lingüísticos, valores exatos ou números Fuzzy), e comparam os riscos dois a dois, para se captar a componente relacional na estrutura hierárquica entre os riscos, dizendo quantas vezes mais impactante é um risco em relação a outro (essa comparação utiliza o valor 1 caso os riscos sejam igualmente impactantes, valor 3 caso o risco 1 seja levemente mais impactante que o risco 2, valor 5 caso o risco 1 seja mais impactante que o risco 2, valor 7 caso o risco 1 seja fortemente mais impactante que o risco 2 e valor 9 caso o risco 1 seja totalmente mais importante que o risco 2. Os valores 2, 4, 6 e 8 são utilizados para diferenciar dois riscos bastante semelhantes se necessário. A relação inversa - o quanto o risco 2 é mais impactante que o risco 1, é obtida pela operação $1/x$ onde x foi o valor atribuído pela comparação risco1 por risco2. Além disso, é solicitado o valor relativo à probabilidade condicional dos riscos dependentes que precisa ser um valor entre 0 e 1. Tabela 2 (anexo).

Este trabalho é realizado uma única vez e a partir da resposta destes formulários a base de dados é gerada. O cálculo de RS e RL relativo a um risco é imediato e ficam armazenados como constantes. Eles são computados através do operador média trapezoidal ponderada Fuzzy, a opinião de cada especialista sobre RL e RS é multiplicada pelo peso da opinião do especialista e agregada no sistema Fuzzy, gerando um valor para RS e RL após a defuzzificação.

Já para o cálculo de FI - componente que aqui agregada eleva a precisão do trabalho já que atribui outro grau de liberdade ao sistema de tomada de decisão evoluindo a tradicional estrutura bidimensional da metodologia de gerência de projetos conhecida por ALARP (As low as Reasonable practicable) para um espaço de suporte a decisão tridimensional - é preciso saber quais riscos estão envolvidos, ou seja, a etapa anterior precisa dizer quantos e discriminar quais riscos estão ocorrendo nessa aresta. Logo, esta etapa é implementada através de uma função que requer como parâmetros de entrada os números inteiros que representem os códigos dos riscos envolvidos e a aresta do grafo para a qual se está calculando a magnitude do risco e retorna como saída três valores reais: o RL, RS e FI da aresta. O RL e RS são calculados como

descrito no item anterior e pelas equações 3 e 4. Já FI é dado por um cálculo um pouco mais elaborado, já que precisa elucidar a dependência hierárquica dos riscos. Primeiro se calcula através do operador média trapezoidal ponderada Fuzzy um valor agregado e ponderado de cada opinião dos diversos especialistas sobre o FI idealizado para cada risco, análogo ao que se fez a RL e RS, gerando um valor constante que também será armazenado e foi chamado de S (Score de cada risco). Com o S de cada risco, é preciso calcular um peso w (weight) que vem da matriz que relaciona os riscos par a par, a matriz tem a seguinte forma [19]:

$$A = a_{ij} = \begin{matrix} & \begin{matrix} \text{risco 1} & \text{risco 2} & \dots & \text{risco n} \end{matrix} \\ \begin{matrix} \text{risco 1} \\ \text{risco 2} \\ \vdots \\ \text{risco n} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad , i, j = 1, 2, \dots, n$$

Equação 5

Nela só figuram os riscos identificados, ou seja, é gerada uma matriz para cada configuração (sempre quadradas, onde cada valor a_{ij} corresponde ao valor dado pela combinação linear das opiniões dos especialistas sobre a relação entre o risco i com o risco j e os pesos da opinião dos mesmos).

Os pesos w_i , (onde i representa a quantidade de riscos envolvida) são obtidos então, a partir da matriz, por média aritmética:

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad , i, j = 1, 2, \dots, n$$

Equação 6

Finalmente o FI para cada caso, pode ser calculado pela combinação linear dos scores S_i e pesos w_i calculados.

Nesta etapa se observou que havia um número finito de combinações possíveis de respostas para esta função, e uma vez que a opinião fosse coletada a base de dados poderia ser compilada gerando as constantes, logo a função poderia ser implementada

por um simples comando de seleção (busca em arquivo) que imediatamente relaciona quais riscos existem com os valores reais FI, RL e RS. Estes três valores servem de entrada para próxima etapa que calcula o valor real da Magnitude do risco RM através do sistema de inferência Fuzzy implantado neste projeto.

4.4 Cálculo da magnitude do risco associado a cada trecho baseado no sistema de inferência Fuzzy

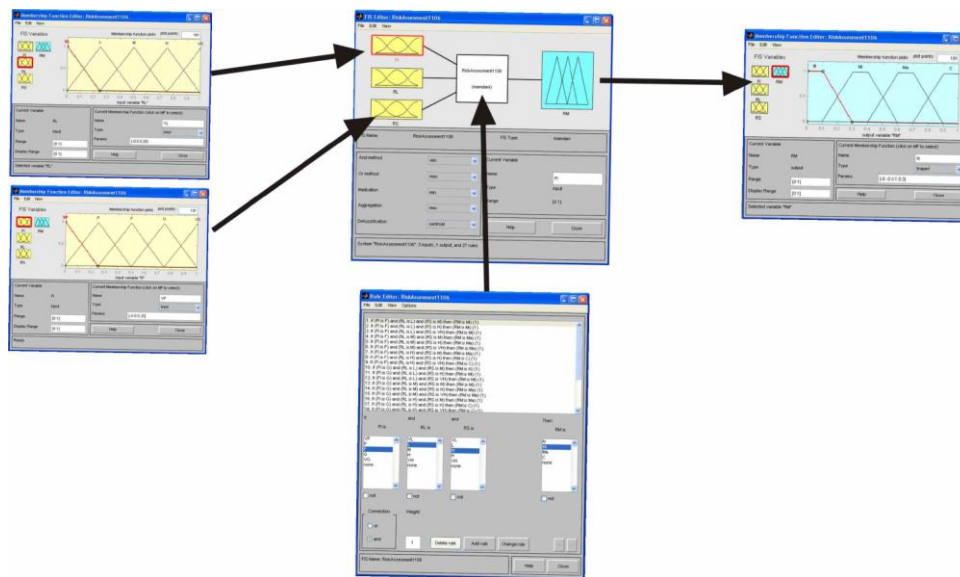


Figura 10– Esquema Sistema Inferência Fuzzy no Matlab, mostrando entre as opções de defuzzificação, a opção adotada: por centróide

Para o cálculo da magnitude do risco associado a cada trecho, a partir de FI, RL e RS, foi implementado na suíte Matlab ® um sistema de inferência Fuzzy, figura 10 e código (anexo) com as funções de pertinência (Membership functions) mencionadas na etapa anterior acrescidas das de saída que mapeiam RM (Figura 11) e para sua correta execução 27 regras de inferência obtidas de [19] foram adotadas (Figura 12).

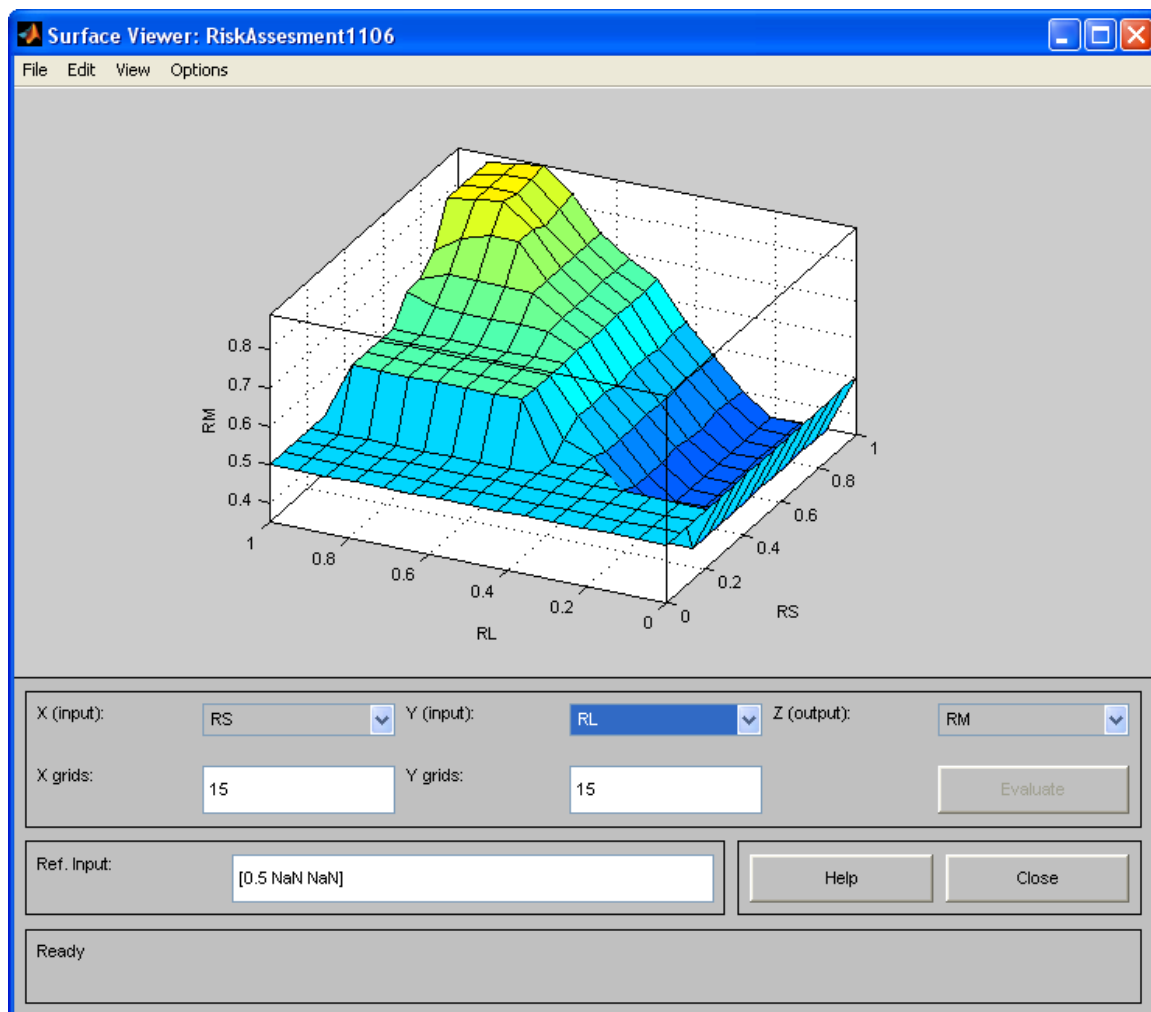


Figura 11 – Superfície que representa o sistema de inferência fuzzy

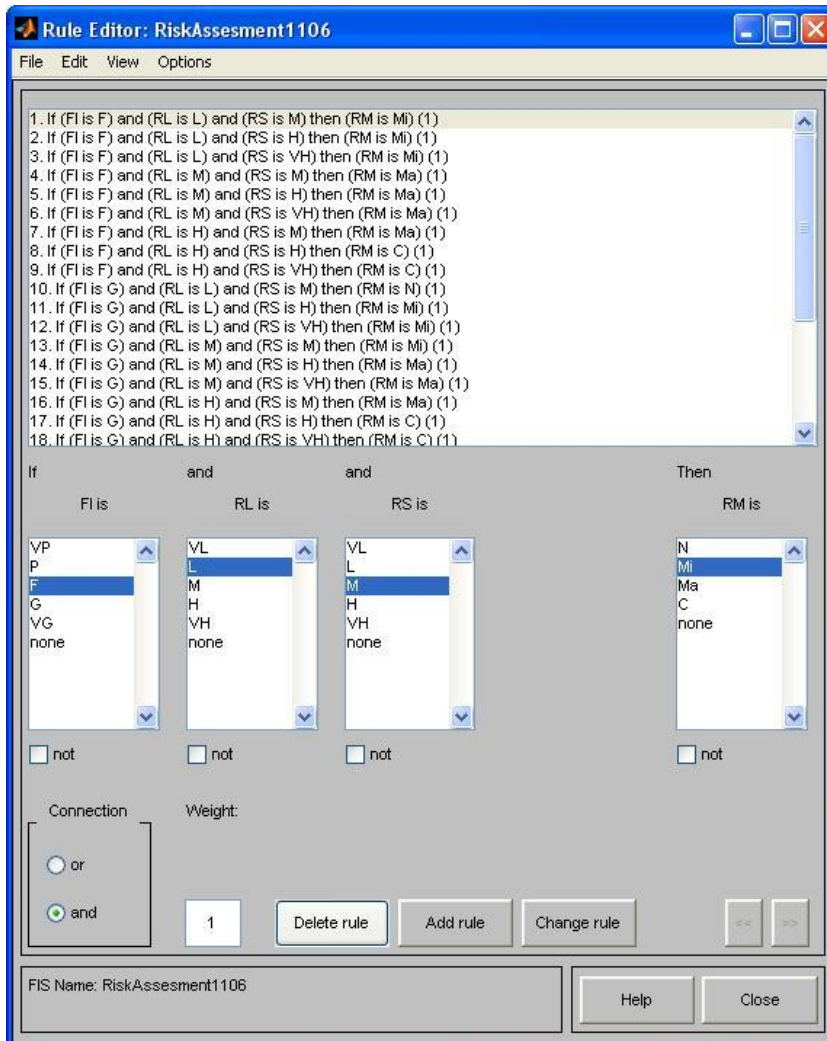


Figura 12 – Exemplo das Regras do Sistema de Inferência Fuzzy, mapeadas com a suíte Matlab ®

É preciso salientar que pelo fato das funções de pertinência terem 5 possibilidades cada, deveriam ser geradas 75 regras de inferência ($5 \times 5 \times 5 = 75$), contudo somente 27 realmente dizem respeito as condições de risco que realmente impactam no trabalho, logo o tempo computacional cai com a adoção de somente 27 das 75 regras e não se perde o rigor na avaliação dos riscos que realmente impactariam no trabalho. As regras seguem o padrão IF Then, onde os antecedentes são os valores FI, RL e RS conectados pelo E booleano e o RM é o conseqüente. Por exemplo: SE FI é Fair e RL é Low e RS é médium ENTÃO o RM será menor.

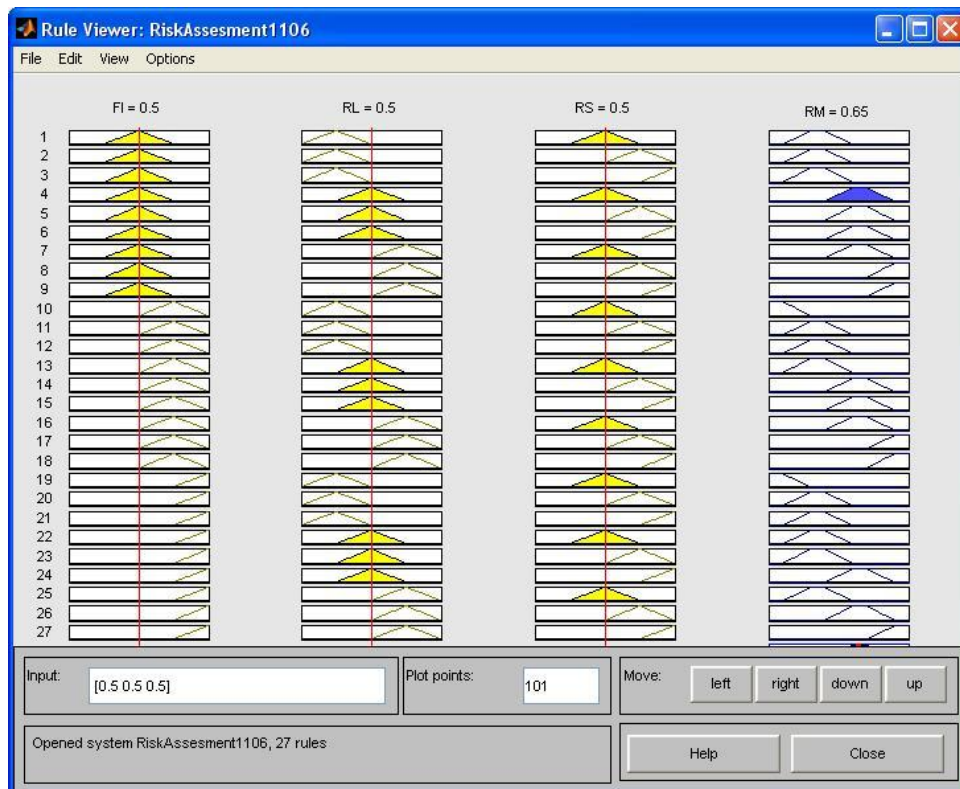


Figura 13 – Regras do Sistema de inferência fuzzy sendo testadas

A figura 13 mostra a suíte Fuzzy no Matlab onde foram testadas estas regras. Esse sistema (código no anexo) já dá o valor defuzzyficado real de saída, em tempo de execução, isso quer dizer de maneira imediata, tornando a avaliação de grandes áreas limitadas somente pelo poder computacional (memória x processamento) do ambiente onde é calculado. Este sistema foi compilado em linguagem c, isto quer dizer que sua execução é independente do software Matlab®, o Matlab® foi usado para gerá-lo, mas não é necessário para rodá-lo. Esta é a etapa que se deu mais importância no trabalho, pois é ela quem efetivamente implementa os cálculos. Ela conjugada com a anterior (3) responde pelo trabalho em sua totalidade, tornando todas as outras apenas um suporte para as mesmas. Este código também deve ser chamado como função pelo ambiente onde o profissional que avalia os riscos trabalha, seja no ArcGIS® ou outro qualquer. Esta função deverá ser chamada para cada aresta do grafo, logo após a execução da função que implementa a etapa anterior (a que avalia quais riscos estão envolvidos e retorna os valores FI, RL e RS), pois a segunda tem os parâmetros de entrada como dependência dos parâmetros de saída da anterior.

4.5 Descoberta da melhor rota baseado nos riscos calculados e estrutura modelada

Com o grafo ponderado pela etapa anterior, já se é possível plotar os valores dos RM das arestas e com isso se obter um mapa com os valores dos riscos associados. Contudo, como se trata de um grafo, se os valores de RM forem transformados de reais para números inteiros, é possível se aplicar o algoritmo de Dijkstra (já consagrado, implementado e disponível em diversas suítes) para a descoberta do caminho de risco mínimo entre dois vértices (origem e destino) a escolha do usuário. Este caminho representaria a rota de menor risco para o duto a ser lançado, mas não necessariamente o de menor custo.

5 RESULTADOS

Inicialmente a idéia proposta era de se implementar todas as etapas apresentadas na seção anterior. Isto não foi possível pela enorme dificuldade encontrada na adoção de um padrão de estrutura de dados para a implementação do grafo que suporta a área em que se deseja trabalhar. Cada software usa um grid proprietário e os padrões gratuitos não respondem com a mesma velocidade computacional nem com uma compactação suficiente (ai reside a diferença de mercado que diferencia os softwares proprietários como a Suíte ArcGIS® e Golden Surfer® por exemplo). Tentou-se lançar mão do GeoTIFF, contudo assim como o free Rasters, tem-se uma deficiência vital nestes padrões, a de se dispor de apenas um valor do tipo inteiro curto para armazenar o valor relativo ao pixel. Com isso a idéia de se mapear dois Rasters para a mesma aresta fica comprometida, pois não há transparência, ou seja, um risco mapeado em uma área toma lugar do outro, e para que se representassem dois riscos possíveis na mesma região seria necessário gerar códigos que representassem a combinação de mais de um risco presente nessa, porém como se tem 30 riscos possíveis a combinação deles dois a dois, três a três, vinte e nove a vinte e nove extrapola o número utilizado para guardar a informação em Rasters e GeoTIFF (esse valor calculado seria $1,0737 \times 10^9$, o que uma estrutura com 30 bits seria capaz de armazenar, mas na prática o que seria utilizado seria um arquivo texto para guardar todas as constantes o que ficaria em aproximadamente 3 MB).

A implementação do grid pela suíte ArcGIS ® através da ferramenta Spatial Analyst, que foi utilizada no projeto, também não gera um grafo nos padrões que este projeto necessita, pois o grafo gerado é quadrado, ou seja as arestas diagonais não são geradas o que dá uma resposta serrilhada para o caminho. Além disso, não foi possível se implementar restrições básicas como a de não permitir curvas que não respeitem o raio de 3 kms fundamental no projeto de dutos dando uma tortuosidade irreal aos caminhos de resposta. Contudo, para um possível projeto de mestrado haveria tempo hábil para se desenvolver uma estrutura de dados que contornasse essas limitações.

Na etapa três da seção anterior os problemas encontrados foram dois: primeiro não se teve um tempo hábil para a coleta das opiniões dos especialistas. Isto é de fácil contorno uma vez que, assim que os formulários voltem, basta substituir as respostas e recompilar (recalcular) as constantes. Segundo, é a estimação da probabilidade condicional referente a dois riscos que sejam dependentes. É um valor bem difícil de ser estimado.

A etapa quatro funcionou perfeitamente, surpreendeu pelo tempo baixo de execução e respondeu inclusive quando aplicado a outro trabalho de engenharia. Seu funcionamento foi independente das outras etapas.

A quinta etapa não pode ser implementada porque era muito dependente da primeira. Contudo por já ser consolidado o uso do Dijkstra, não seria surpresa seu funcionamento. Outros algoritmos heurísticos onde a fonte tenta buscar o destino seriam interessantíssimos se tivessem sua implementação conjugada a esse problema, pois a resposta do caminho de menor risco poderia levar ainda menos tempo para ser calculada.

6 CONCLUSÃO

Este método que almeja ser suporte à decisão na escolha da diretriz de menor risco, pode vir a ser muito útil, pois no momento não existem ferramentas desse tipo para auxiliar os engenheiros submarinos a tomarem estas decisões baseadas em riscos efetivamente quantificados e, como são muitas variáveis envolvidas, o trabalho ainda é muito complexo.

Acredita-se que com a implementação de uma estrutura de dados robusta, as limitações encontradas possam ser superadas e esta metodologia possa vir a se tornar um produto. Como a resposta do sistema de inferência Fuzzy é em tempo de máquina, se futuramente ela for conjugada a um algoritmo heurístico de escolha do menor caminho, é provável que se obtenha um software de respeito que alie confiança e velocidade.

Por fim julga-se proveitosa a pesquisa onde se pode ter acesso a diversas fontes de geotecnia marinha, geofísica ambiental, análise de riscos e assim experimentar a multidisciplinaridade que a geofísica oferece.

7 ANEXOS

Tabela 1 – Descrição dos valores das variáveis das funções de pertinência
(Membership functions MF)

Descrição do FI (Fator Índice)	Interpretação geral	Número Fuzzy
Muito pobre (Very Poor [VP])	Fator envolvido tem grande impacto no lançamento do duto.	(0.0, 0.0, 2.5)
Pobre (Poor [P])	Fator envolvido tem algum impacto no lançamento do duto.	(0.0, 2.5, 5.0)
Regular (Fair [F])	Fator envolvido não tem impacto substancial no lançamento do duto.	(2.5, 5.0, 7.5)
Bom (Good [G])	Fator envolvido não tem um impacto crítico no lançamento do duto	(5.0, 7.5, 10.0)
Muito Bom (Very Good [VG])	Fator envolvido não tem impacto no lançamento do duto.	(7.5, 10.0, 10.0)
Descrição do RL (probabilidade de impacto)		
Muito Baixo (Very Low [VL])	Muito improvável de impactar o lançamento com a ocorrência do risco	(0.0, 0.0, 2.5)
Baixo (Low [L])	Ocorrência não provável de impacto no lançamento com a ocorrência do risco.	(0.0, 2.5, 5.0)
Médio (Médium [M])	Provável impacto com a ocorrência do risco.	(2.5, 5.0, 7.5)
Alto (High [H])	Muito provável o impacto caso ocorra o risco.	(5.0, 7.5, 10.0)
Muito Alto (Very High [VH])	Impacto inevitável caso ocorra o risco.	(7.5, 10.0, 10.0)
Descrição do RS (severidade do impacto)		
Muito Baixo (Very Low [VL])	O impacto causado no duto caso o risco ocorra é muito baixo	(0.0, 0.0, 2.5)
Baixo (Low [L])	O impacto causado no duto caso o risco ocorra é baixo.	(0.0, 2.5, 5.0)
Médio (Médium [M])	O impacto causado no duto caso o risco ocorra é considerável.	(2.5, 5.0, 7.5)
Alto (High [H])	O impacto causado no duto caso o risco ocorra é grande.	(5.0, 7.5, 10.0)
Muito Alto (Very High [VH])	O impacto causado no duto caso o risco ocorra é catastrófico.	(7.5, 10.0, 10.0)
Descrição do RM (Magnitude do risco)		
Negligível (Negligible [N])	O risco é aceitável.	(0.0, 0.0, 1.0, 3.0)
Pequeno (Minor [Mi])	Risco tolerável.	(1.0, 3.0, 4.0, 6.0)
Grande (Major [Ma])	Risco que precisa ser mitigado.	(4.0, 6.0, 7.0, 9.0)
Crítico (Critical [C])	Risco que precisa ser evitado.	(7.0, 9.0, 10.0, 10.0)

Código do Sistema de Inferência Fuzzy.

1. Name	62.	[0.75 1 1 0]	97.	2
RiskAssesment1106	63.	[-0 0 0.25 0]	98.	2
2. Type mamdani	64.	[0 0.25 0.5 0]	99.	2
3. Inputs/Outputs [3 1]	65.	[0.25 0.5 0.75 0]	100.	3
4. NumInputMFs [5 5 5]	66.	[0.5 0.75 1 0]	101.	2
5. NumOutputMFs 4	67.	[0.75 1 1 0]	102.	3
6. NumRules 27	68.	[-0 0 0.25 0]	103.	4
7. AndMethod min	69.	[0 0.25 0.5 0]	77. Rule Weight	1
8. OrMethod max	70.	[0.25 0.5 0.75 0]	78.	1
9. ImpMethod min	71.	[0.5 0.75 1 0]	79.	1
10. AggMethod max	72.	[0.75 1 1 0]	80.	1
11. DefuzzMethod centroid	73. OutMFParams	[-0 -0 0.1 0.3]	81.	1
12. InLabels FI	74.	[0.1 0.3 0.4 0.6]	82.	1
13. RL	75.	[0.4 0.6 0.7 0.9]	83.	1
14. RS	76.	[0.7 0.9 1 1]	84.	1
15. OutLabels RM	77. Rule Antecedent	[3 2 3]	85.	1
16. InRange [0 1]	78.	[3 2 4]	86.	1
17. [0 1]	79.	[3 2 5]	87.	1
18. [0 1]	80.	[3 3 3]	88.	1
19. OutRange [0 1]	81.	[3 3 4]	89.	1
20. InMFLabels VP	82.	[3 3 5]	90.	1
21. P	83.	[3 4 3]	91.	1
22. F	84.	[3 4 4]	92.	1
23. G	85.	[3 4 5]	93.	1
24. VG	86.	[4 2 3]	94.	1
25. VL	87.	[4 2 4]	95.	1
26. L	88.	[4 2 5]	96.	1
27. M	89.	[4 3 3]	97.	1
28. H	90.	[4 3 4]	98.	1
29. VH	91.	[4 3 5]	99.	1
30. VL	92.	[4 4 3]	100.	1
31. L	93.	[4 4 4]	101.	1
32. M	94.	[4 4 5]	102.	1
33. H	95.	[5 2 3]	103.	1
34. VH	96.	[5 2 4]	77. Rule Connection	1
35. OutMFLabels N	97.	[5 2 5]	78.	1
36. Mi	98.	[5 3 3]	79.	1
37. Ma	99.	[5 3 4]	80.	1
38. C	100.	[5 3 5]	81.	1
39. InMFTypes trimf	101.	[5 4 3]	82.	1
40. trimf	102.	[5 4 4]	83.	1
41. trimf	103.	[5 4 5]	84.	1
42. trimf	77. Rule Consequent 2		85.	1
43. trimf	78.	2	86.	1
44. trimf	79.	2	87.	1
45. trimf	80.	3	88.	1
46. trimf	81.	3	89.	1
47. trimf	82.	3	90.	1
48. trimf	83.	3	91.	1
49. trimf	84.	4	92.	1
50. trimf	85.	4	93.	1
51. trimf	86.	1	94.	1
52. trimf	87.	2	95.	1
53. trimf	88.	2	96.	1
54. OutMFTypes trapmf	89.	2	97.	1
55. trapmf	90.	3	98.	1
56. trapmf	91.	3	99.	1
57. trapmf	92.	3	100.	1
58. InMFParams [-0 0 0.25 0]	93.	4	101.	1
59. [0 0.25 0.5 0]	94.	4	102.	1
60. [0.25 0.5 0.75 0]	95.	1	103.	1
61. [0.5 0.75 1 0]	96.	2	EOF.	