

UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE APOIO A DECISÃO MULTICRITÉRIO NO PROCESSO DE DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES PARA AÇÕES EM GASODUTOS DE GÁS NATURAL



Marcelo Hazin Alencar (UFPE)

marcelohazin@gmail.com

Yuri Gama Lopes (UFPE)

lopes@ufpe.br

Gustavo Borges Alencar Siqueira (UFPE)

borgesgustavo@gmail.com

Luiz Alberto Freire Wolmer Filho (UFPE)

luizwolmer@gmail.com

Adiel Teixeira de Almeida Filho (UFPE)

ataf__@hotmail.com

Atualmente, a informação é tida como uma das grandes riquezas de uma organização. Atrelado a isto, Sistemas de Apoio a Decisão (SAD) são cada vez mais utilizados em várias áreas do cenário mundial como uma ferramenta de apoio para os processos decisórios. Neste contexto, este artigo propõe a utilização de um Sistema de Apoio a Decisão multicritério ao longo de um processo de análise de riscos em gasodutos de gás natural, com o intuito de se estabelecer ações em classes de prioridades, possibilitando assim a mitigação dos riscos no gasoduto considerado. Os gasodutos, meio de transporte de gás natural mais utilizado no mundo, apesar de serem bastante seguros apresentam riscos de diferentes magnitudes e severidades devido a ocorrência de vários acidentes durante a sua operação.

Palavras-chaves: Sistema de Apoio a Decisão Multicritério. Análise de Risco. Gás natural.

1. Introdução

Segundo Bhattacharyya (2007), as mudanças no cenário energético são naturais e inevitáveis, visto que o mundo atual sofre constantes alterações no campo social, econômico, tecnológico e ideológico. De acordo com Afgan *et al* (2007), é crescente o consumo de energia mundial em virtude do aumento populacional. Ao mesmo tempo, a qualidade do ar é afetada pelas emissões de combustíveis fósseis, o que contribui para as alterações no clima. Schaffer (2008), afirma que o gás natural é abundante, apresentando uma queima relativamente limpa quando comparado a outros tipos de combustíveis. É bastante utilizado para a alimentação de redes elétricas, fornecimento de energia térmica e fabricação de produtos.

A sociedade tem cobrado cada vez mais que governos e empresários utilizem fontes de energia menos nocivas. O gás natural, que está inserido nesta classificação, tem como grande vantagem a facilidade de distribuição a pequenas pressões, o que o torna ideal para utilização como combustível doméstico, além da produção de eletricidade. Afgan *et al* (2007) afirmam que o aumento crescente do uso do gás natural ocasiona a redução da emissão de poluentes, além de proporcionar significantes benefícios para o meio ambiente, sendo, por isso, uma fonte de energia extremamente importante.

No que se refere aos meios de transporte do gás natural, destacam-se os gasodutos. De acordo com Chebouba *et al* (2009), os gasodutos são definidos como sistemas complexos com centenas e até milhares de quilômetros, destinados ao transporte de gás natural através da canalização. De acordo com Cullen (1996) *apud* Papadakis (2000), os gasodutos são considerados como meios práticos para o transporte de grandes volumes, reconhecidos como os meios mais seguros e econômicos para transporte de substâncias perigosas. Em contrapartida, Olorunniwo *et al* (2007) afirmam que estes sistemas muitas vezes operam relativamente em elevadas pressões. Nessas condições, vazamentos e rupturas acompanhadas de súbita liberação de gás pode ocasionar graves explosões e incêndios, com mortes e perdas materiais associadas. Ao longo do tempo, tem-se observado acidentes de diversas magnitudes e severidades em todo o mundo. Segundo Sklavounos e Rigas (2006), nos últimos anos um grande esforço tem sido realizado não apenas para prevenir estes acidentes nos gasodutos, como também para mitigar suas consequências.

O Brasil, país de dimensões continentais, apresenta características peculiares quanto ao seu sistema energético. Quanto à utilização do gás natural, verificam-se alguns problemas associados com a produção, transporte, distribuição e utilização. Como exemplo, Oliveira (2007) afirma que embora a rede brasileira de gasodutos tenha crescido bastante na última década, verifica-se que poucos consumidores domésticos e comerciais estão conectados à rede de gás.

Diante deste cenário, este trabalho apresenta uma aplicação de um modelo de decisão multicritério para atribuição de ações para classes de prioridades, com o intuito de amenizar os riscos envolvidos em um sistema de transporte de gás natural. Este modelo será ilustrado através de um estudo de caso realístico analisado com auxílio de um SAD (Sistema de Apoio a Decisão) proposto por Lopes *et al* (2009).

2. Avaliação dos riscos em gasodutos

O caráter probabilístico da ocorrência de cenários acidentais e os diferentes tipos de consequências resultantes destes cenários caracterizam os riscos envolvidos no abastecimento, transporte e distribuição de gás natural por meio de dutos. Estas razões elevam a importância

de estruturar a análise de risco deste tipo de transporte do gás natural, de tratar a incerteza inerente ao problema e a subjetividade na estimação e avaliação de diferentes dimensões de risco envolvidas.

2.1. Priorização das seções dos gasodutos

Le May e Deckker (2009) afirmam que falhas e acidentes relacionados à Engenharia podem apresentar efeitos devastadores de longa duração proporcionando grandes prejuízos no âmbito econômico. Hausamann *et al* (2005) afirmam que os métodos de monitoramento mais utilizados na Europa para gasodutos de transporte de gás natural incluem patrulhas terrestres ao longo do percurso dos gasodutos, além de vigilância aérea através de pequenos aviões e helicópteros. Estas patrulhas buscam prevenir eventos indesejáveis. Embora estes métodos garantam um elevado nível de segurança ao longo da rota da operação dos gasodutos, apresentam custos bastante elevados. Segundo Bertolini e Bevilacqua (2006), com o objetivo de garantir um maior nível de segurança dos gasodutos, é de fundamental importância à padronização de procedimentos operacionais.

Atualmente, verificam-se abordagens distintas que exploram a inspeção visual monitorada por sensores inteligentes que identificam desde perdas de metais até a detecção de fissuras. Segundo Caputo e Pelagagge (2005), apesar da existência de diferentes técnicas, uma solução eficaz para um melhor monitoramento das redes dos gasodutos ainda é tratado como um desafio significativo. O grande problema está associado com as características físicas deste tipo de sistema. Geralmente, um gasoduto apresenta milhares de quilômetros de comprimento, o que inviabiliza a análise homogênea de todas as partes. Há a necessidade de estabelecer prioridades que antecipem o processo de estruturação de políticas de manutenção. Na realidade, é necessário priorizar diferentes classes de seções de gasoduto quanto ao nível de risco associado a elas. Deste modo, diferentes políticas podem ser aplicadas às seções dos gasodutos conforme diferentes tipos de risco.

Na literatura, verificam-se artigos que tratam do problema: Bertolini e Bevilacqua (2006), por exemplo, observam que regras inteligentes podem apoiar a gerência na definição da ação correta para uma dada seção do gasoduto. Os autores apresentam uma estrutura para a obtenção de regras decisórias no sentido de aprimorar a seleção dos trechos do gasoduto a ser monitorado. Apesar deste referido modelo ser de grande utilidade, especialmente na melhoria da eficiência do processo de controle de riscos, pelo estabelecimento das atividades mais apropriadas que serão aplicadas às devidas classes de gasodutos, o modelo verificado em Alencar *et al* (2009) pode prover melhorias no processo de atribuição das ações, fornecendo uma classificação das seções do gasoduto que serão consideradas quando da definição do processo de priorização para mitigação dos riscos relacionados ao sistema de transporte.

3. Atribuição de classes a serem priorizadas através de um modelo de decisão multicritério

Vincke (1992) define o apoio a decisão multicritério (MCDA) como um conjunto de métodos e técnicas estabelecidas para o auxílio ou apoio de organizações e pessoas na solução de problemas de decisão. No MCDA, levam-se em consideração vários atributos, geralmente conflitantes entre si.

Os especialistas na área apresentam os métodos multicritério em 3 grandes famílias: métodos da escola americana, métodos de sobreclassificação e métodos interativos.

MAUT (Teoria da Utilidade Multiatributo) destaca-se entre os métodos da escola americana de apoio a decisão. Segundo He & Huang (2008), com o desenvolvimento da MAUT o

processo de tomada de decisão multicritério cresceu bastante, sendo aplicada nas mais diversas áreas. Suas aplicações em muitos campos de decisão têm demonstrado que este processo decisório é de suma importância na atualidade. De acordo com Keeney & Raiffa (1976), MAUT proporciona um meio lógico para tratar com *tradeoffs* entre objetivos conflitantes. Permite ao decisor estruturar problemas complexos através de uma simples hierarquia, avaliando subjetivamente um grande número de fatores quantitativos e qualitativos sob a presença da incerteza. A utilidade é a medida de desejabilidade ou satisfação, proporcionando uma escala uniforme para combinação e/ ou comparação dos fatores quantitativos e/ou qualitativos. Sendo assim, MAUT permite ao decisor o desenvolvimento de critérios satisfatórios de preferência, determinando quais as hipóteses são mais apropriadas e avaliando as funções utilidades resultantes (LINDEY, 1985 *apud* COLLINS *et al*, 2006).

De acordo com Mota e Almeida (2007), a segunda família de métodos multicritério, inspirada na escola francesa, busca a princípio auxiliar a construção de uma relação conhecida como sobreclassificação, que incorpora as preferências fortemente estabelecidas pelos decisores diante dos problemas e das alternativas disponíveis. Em seguida, explora-se a relação de sobreclassificação com o objetivo de auxiliar o decisor a solucionar o problema em questão.

De acordo com Vincke (1992), a última e a mais recente das famílias apresenta métodos que alternam cálculos (produzindo soluções de compromisso sucessivas) e diálogos (origem de informações extras nas preferências do decisor).

Com relação ao cenário mundial, Bishop *et al* (2008) afirmam que as decisões, de uma maneira geral, são bastante complexas. Vários critérios precisam ser satisfeitos. As consequências das opções a serem analisadas apresentam diversas distribuições temporais e espaciais, atingindo grupos de populações e gerações distintos. Segundo Afgan *et al* (2008), a necessidade de se levar em consideração aspectos do âmbito financeiro, social e ambiental no planejamento associado a estudos de fontes de energia fez com que nos últimos anos estudiosos adotassem, de forma mais freqüente, abordagens multicritério. Os objetivos conflitantes precisam ser descritos e as prioridades definidas, enquanto que as perspectivas de vários *Stakeholders* devem convergir para um consenso. A análise de decisão multicritério (MCDA) pode auxiliar todo este processo decisório, principalmente no contexto de riscos, tratado aqui nesse trabalho.

Aplicações são observadas em muitos trabalhos quanto à criação e utilização de modelos para análise de risco no transporte e distribuição de gás em gasodutos como nos trabalhos de Brito *et al* (2009), Lopes *et al* (2009) e Alencar *et al* (2009). Isto é verificado devido ao crescimento da utilização de gás em grande parte do mundo, além da magnitude e severidade dos riscos que estão associados a esta utilização.

Será apresentada mais adiante neste trabalho uma aplicação realística do modelo multicritério, com base no modelo de Brito e Almeida (2009).

4. Conceitos Fundamentais sobre Sistemas de Apoio a Decisão

Atualmente, um dos principais insumos estratégicos para as organizações é a informação. O mundo organizacional está cada vez mais complexo, a diversidade de dados e opções é tanta que o processo de tomada de decisão necessita de um tratamento adequado (CLERICUZI *et al*, 2006). Nesse contexto, no que se refere ao gerenciamento e análise dos riscos envolvidos no transporte de gás natural via gasodutos, é fundamental o desenvolvimento de uma ferramenta que apóie o processo de análise, tratando tanto das questões técnicas inerentes ao transporte dutoviário do gás como das questões acerca da consideração da estrutura de

preferências do decisor.

Tal ferramenta é desenvolvida por meio dos sistemas de informação. Um sistema de informação possui os componentes genéricos semelhantes a qualquer outro tipo de sistema: insumos, processo de transformação e saídas. Entretanto, em um sistema de informação os insumos são dados e as saídas, informações. De acordo com a abordagem, o objetivo, o foco, a forma como a informação é disponibilizada e a que se destina os Sistemas de Informação podem apresentar várias classificações (COSTA, 2003). Segundo Almeida *et al* (2002), o nível de estruturação do problema está relacionado com as diferentes abordagens de sistemas de informação.

O Sistema de Apoio a Decisão (SAD) dá suporte à tomada de decisão de problemas não-estruturados ou semi-estruturados (DAVIS & OLSON, 1985 *apud* ALMEIDA *et al*, 2002). Isso se deve à capacidade do SAD, por definição, de não apenas prover apoio a tomada de decisão, como também de contribuir para o processo decisório. O sistema de apoio à decisão para análise de risco em gasodutos sob um enfoque da MAUT deve, ao mesmo tempo, possuir substanciais bases de dados e de modelos, que satisfaçam as necessidades da modelagem matemática do problema, além de um componente de diálogo bem estruturado para realizar uma comunicação intensa com o decisor.

O uso de um sistema de apoio a decisão no contexto deste trabalho mostra-se, portanto, pertinente devido à característica não estruturada do problema, o grande número de variáveis e parâmetros envolvidos, assim como a flexibilidade necessária durante o procedimento de análise das seções. Ou seja, há uma compatibilidade natural entre as funcionalidades básicas de um SAD e as características inerentes ao tipo de decisão a qual pretende-se apoiar ou suportar. O problema tratado é não estruturado, é de grande porte, considera a subjetividade no processo decisório. O SAD constitui-se, então, como uma ferramenta que viabiliza o enfrentamento desse tipo de problema de forma efetiva.

5. Aplicação

Este estudo expõe uma situação realística definida pela distribuição de trechos de gasodutos em seções que apresentam características homogêneas. Um SAD (Sistema de Apoio a Decisão) proposto por Lopes *et al* (2009) será utilizado nesta aplicação, levando em conta dados provenientes de especialistas. Como resultado deste processo, atividades apropriadas serão planejadas para cada seção do gasoduto, levando-se em conta o caráter multi-dimensional do risco ($r(a_i)$). De fato, o risco multi-dimensional é uma medida que inclui a dimensão humana, ambiental e financeira, de tal maneira que as regras sejam elaboradas de modo a levar em consideração apenas este valor.

5.1. Identificação das seções dos gasodutos

De acordo com algumas variáveis técnicas, sociais, ambientais e econômicas como o diâmetro e a idade dos dutos, o gasoduto foi dividido em seis seções ilustradas na Figura 1.

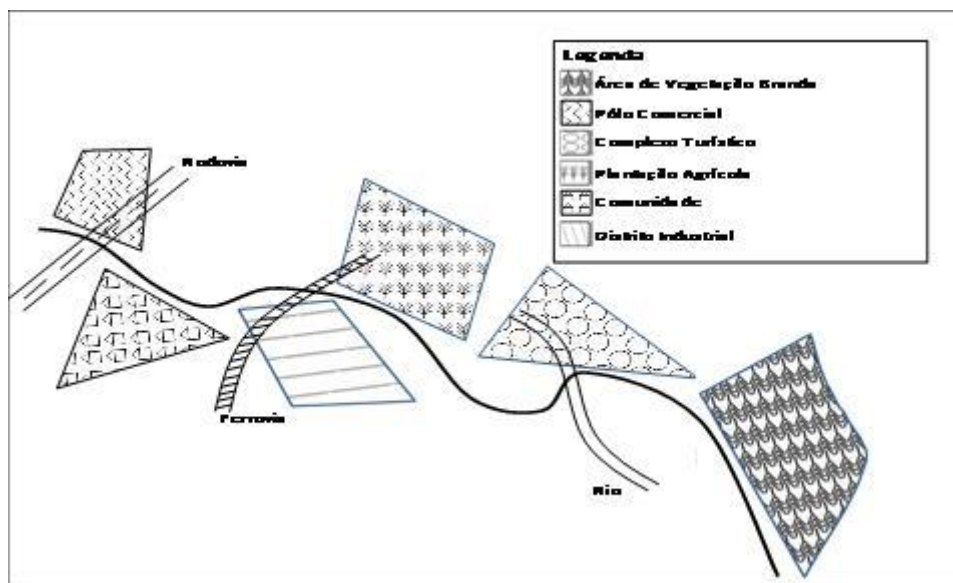


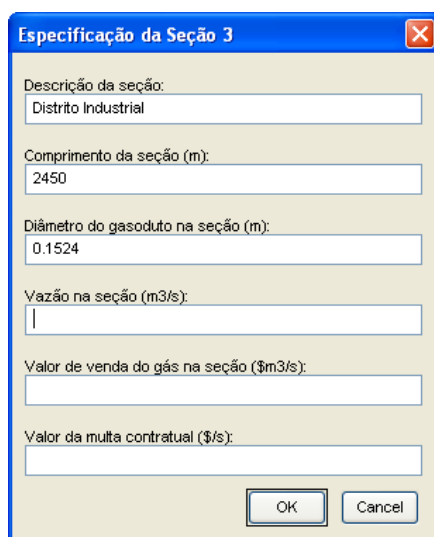
Figura 1 – Mapa das seções do gasoduto

Os gasodutos analisados nesta aplicação apresentam uma extensão total de 18400 metros com um diâmetro padrão de 6” (152,4mm) em todas as seções conforme a Tabela 1:

Seção	Descrição da seção	Tamanho (m)
S ₁	Situa-se próximo a um pólo comercial e cruza uma rodovia.	2700
S ₂	Localiza-se próximo a uma comunidade.	3500
S ₃	Situada próximo a um Distrito Industrial, atravessando uma ferrovia.	2450
S ₄	Localizada nas proximidades de uma plantação agrícola	3150
S ₅	Encontra-se nas proximidades de um Complexo turístico. Atravessa um rio.	2900
S ₆	Situada nas proximidades de uma área de vegetação branda	3700

Tabela 1 – Descrição das seções dos gasodutos

Inicialmente, ao utilizar o SAD, deve-se identificar quantas e quais são as seções homogêneas do gasoduto considerado. Em seguida, alguns dados referentes às características de cada trecho devem ser preenchidos em campos específicos conforme Figura 2:



Especificação da Seção 3

Descrição da seção:
Distrito Industrial

Comprimento da seção (m):
2450

Diâmetro do gasoduto na seção (m):
0.1524

Vazão na seção (m³/s):
|

Valor de venda do gás na seção (\$/m³/s):
|

Valor da multa contratual (\$/s):
|

OK Cancel

Figura 2 – Dados referentes à Seção 3 do gasoduto analisado

5.2. Definição dos cenários de perigo

Os cenários de perigo são definidos e especificados no SAD, levando-se em consideração alguns fenômenos e acidentes associados ao gás natural, devido aos vazamentos em gasodutos, às falhas operacionais, etc. Foram considerados como base os cenários de perigo definidos por Brito e Almeida (2009). Conforme a Tabela 2, os perigos são provenientes dos furos e rupturas verificados nos gasodutos.

Cenário	Modo de falha do gasoduto	Cenário resultante
θ_{R1}	Ruptura	Detonação/Deflagração
θ_{R2}		Bola/Jato de Fogo
θ_{R3}		CVCE
θ_{R4}		<i>Flash Fire</i>
θ_{R5}		Dissipação do gás
θ_{P1}	Furo	Detonação/Deflagração
θ_{P2}		Jato de Fogo
θ_{P3}		CVCE
θ_{P4}		<i>Flash Fire</i>
θ_{P5}		Dissipação do gás

Fonte: Adaptado de Brito e Almeida (2009)

Tabela 2 – Cenários Acidentais

5.3. Estimação das probabilidades dos cenários acidentais para cada seção a_i

De posse dos cenários definidos por meio dos dados provenientes dos especialistas, as probabilidades dos cenários de perigo foram estimadas para cada seção do gasoduto, estabelecendo-se assim para cada seção e cenário a distribuição de probabilidade a priori estabelecidas nas Tabelas 3 e 4.

Seção	θ_{R1}	θ_{R2}	θ_{R3}	θ_{R4}	θ_{R5}
S ₁	2,16E-06	4,67E-05	2,27E-05	2,18E-07	1,76E-04
S ₂	2,22E-06	4,80E-05	2,33E-05	2,24E-07	1,82E-04
S ₃	2,09E-06	4,50E-05	2,20E-05	2,12E-07	1,72E-04
S ₄	2,01E-06	4,34E-05	2,11E-05	2,00E-07	1,65E-04
S ₅	2,17E-06	4,70E-05	2,28E-05	2,20E-07	1,78E-04
S ₆	1,99E-06	4,31E-05	2,09E-05	1,99E-07	1,63E-04

Tabela 3 – Probabilidades *a priori* dos cenários acidentais decorrentes das rupturas nos gasodutos

Seção	θ_{P1}	θ_{P2}	θ_{P3}	θ_{P4}	θ_{P5}
-------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

S ₁	2,73E-06	7,67E-05	1,24E-04	1,36E-06	7,60E-04
S ₂	2,80E-06	7,93E-05	1,27E-04	1,39E-06	7,77E-04
S ₃	2,64E-06	7,49E-05	1,20E-04	1,31E-06	7,32E-04
S ₄	2,54E-06	7,19E-05	1,15E-04	1,26E-06	7,04E-04
S ₅	2,74E-06	7,79E-05	1,26E-04	1,38E-06	7,72E-04
S ₆	2,51E-06	7,15E-05	1,14E-04	1,24E-06	6,98E-04

Tabela 4 - Probabilidades *a priori* dos cenários acidentais decorrentes dos furos nos gasodutos

5.4. Estimação dos conjuntos de *payoffs*

A realização da estimativa dos conjuntos de *payoffs* no modelo engloba três dimensões: humana, ambiental e financeira (H, A, F), conforme o modelo base presente no SAD (LOPES *et al.*, 2009). Segundo os autores, a avaliação tradicional do risco fundamentada apenas em fatalidades pode impossibilitar em cada seção do gasoduto a identificação do risco ecológico-ambiental, assim como os riscos ocasionados por fatores econômicos. Apesar destes fatores não serem tão relevantes quanto é a dimensão humana, é importante estar atento a eles. Na dimensão humana, levaram-se em consideração as densidades populacionais das regiões analisadas. Quanto à dimensão ambiental, impactos foram expressos como uma função de área da vegetação destruída, enquanto que na dimensão financeira, foram considerados gastos relacionados a multas originárias de acidentes, manutenções e indenizações.

5.5 Elicitação de $U(H,A,F)$

Na elicitação da função utilidade multiatributo $U(H,A,F)$, a função foi considerada aditiva, levando em conta a existência de independência preferencial entre os conjuntos de *payoffs* H,A,F .

Na dimensão humana, a relação entre a exposição de pessoas ao risco e as possíveis consequências dos eventos foram consideradas. Na dimensão ambiental, consideraram-se as áreas de vegetação possivelmente danificadas com a ocorrência dos cenários de risco. Já para a dimensão financeira a possível perda monetária foi o fator prezado.

O SAD apóia a escolha do decisor em relação à função utilidade para cada aspecto considerado: humano, ambiental e financeiro. O *software* desenvolvido permite ao usuário escolher qual comportamento ele deseja assumir em relação ao risco (propenso, neutro ou averso). Além disso, pode-se alterar os parâmetros visualizando simultaneamente o comportamento da função utilidade. Deste modo, notam-se os benefícios da interação direta do usuário com o SAD. Através de uma interface amigável o especialista consegue facilmente incorporar suas preferências e ajustá-las, observando as modificações em tempo real por meio da função gráfica presente no programa.

No estudo de caso considerado neste trabalho, verificou-se que o especialista se apresentou avesso ao risco para a dimensão humana, por se tratar da análise de vidas de pessoas. Ele mostrou-se ainda neutro ao risco na dimensão ambiental e propenso ao risco na dimensão financeira. De acordo com as Figuras 3 e 4, pode-se verificar a etapa da elicitação da função utilidade com o auxílio do SAD para a dimensão humana e ambiental:

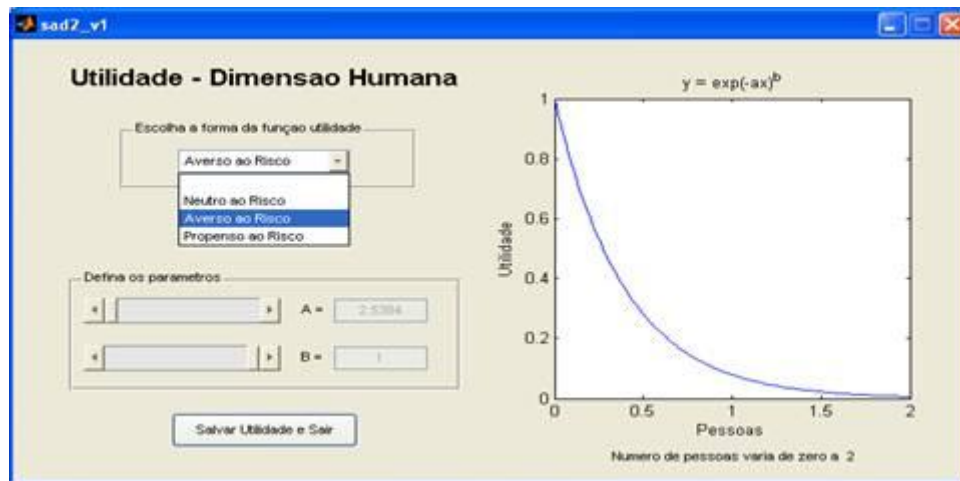


Figura 3 – Elicitação de $U(H)$

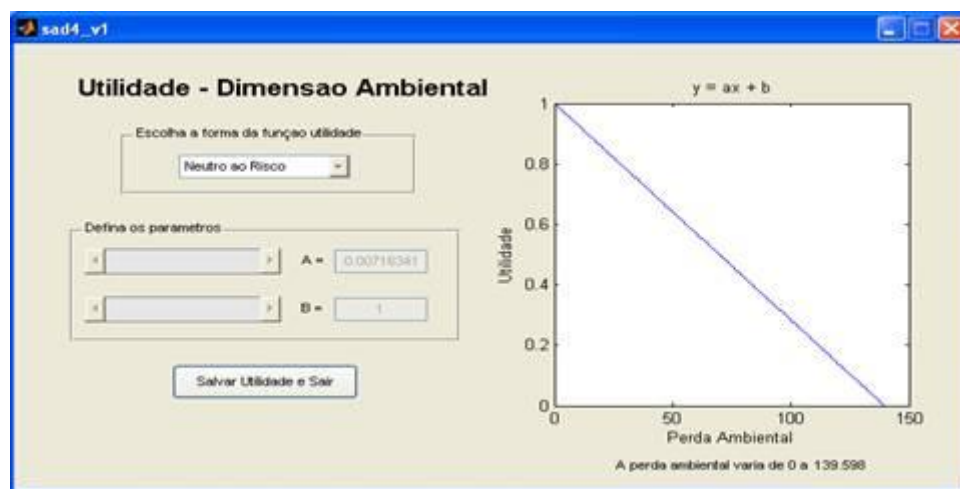


Figura 4 – Elicitação de $U(A)$

A função utilidade é obtida através de utilidades unidimensionais para as dimensões do risco consideradas na equação 1:

$$U(H, A, F) = k_h U(h) + k_a U(a) + k_f U(f) \quad (1),$$

onde os K 's são as constantes de escala e $k_h + k_a + k_f = 1$. A estimação das constantes de escala segue os procedimentos descritos em Keeney e Raiffa (1976), fornecendo para K_h , K_a e K_f os valores 0.48, 0.10 e 0.42 respectivamente.

5.6 Cálculo das probabilidades das consequências $p(H, A, F | \theta, a_i)$

Neste estudo, foram estimadas as probabilidades $p(H | \theta, a_i)$, $p(A | \theta, a_i)$ e $p(F | \theta, a_i)$ isoladamente devido à aleatoriedade e independência das consequências das 3 dimensões consideradas, apresentando uma correlação insignificante. As funções densidade de probabilidade de $f(H | \theta, a_i)$, $f(A | \theta, a_i)$ e $f(F | \theta, a_i)$ foram consideradas como representantes destas probabilidades.

Com o auxílio do SAD, o decisor visualiza a função densidade de probabilidade da perda dado a ocorrência do cenário considerado. Este processo é realizado para cada cenário, seção e dimensão. Um parâmetro já estimado é dado como referência e o decisor tem a possibilidade de alterá-lo, ou não, para adequar a função em questão ao comportamento

desejado por ele, conforme pode ser observado através da Figura 5.

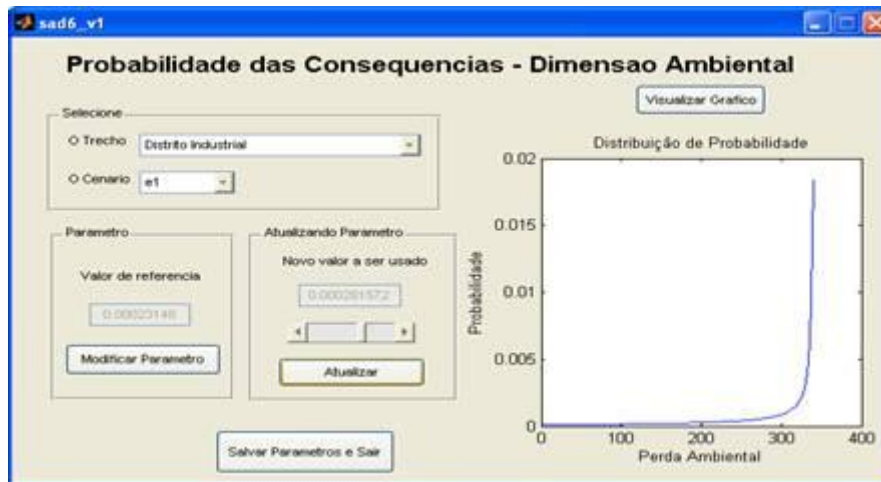


Figura 5 – Cálculo de $p(A|\theta, a_i)$

5.7 Estimação dos riscos $r(a_i)$

Visando estimar os riscos de cada seção, a função utilidade multiatributo é combinada com a função densidade de probabilidade. Para cada seção do gasoduto estabelecida e para cada cenário acidental definido, a perda é verificada pela equação 2:

$$L(\theta, a_i) = - \int_H \int_M \int_N f(h, m, n | \theta, a_i) U(h, m, n) df dm dn \quad (2)$$

Conforme verificado em Alencar *et al* (2009) O risco r para cada local é definido a partir do desenvolvimento da equação 2.

5.8. Ordenação dos riscos das seções dos gasodutos

Estabelecido o valor do risco r para cada seção, uma ordenação decrescente das seções é produzida, segundo a Tabela 5:

Posição no ranking	Seção	$R(a_i)$
1	S ₆	1,05E-03
2	S ₅	1,03E-03
3	S ₁	1,02E-03
4	S ₄	0,99E-03
5	S ₂	0,98E-03
6	S ₃	0,90E-03

Tabela 5. Ordenação dos riscos das seções dos gasodutos após a obtenção do risco multiatributo

Conforme os valores da Tabela 5, a primeira seção a ser priorizada é a S₆, a qual passa nas proximidades de uma área de vegetação branda. O intervalo de escalas da função utilidade permite comparações de incrementos de risco em relação às seções dos gasodutos que estão situadas nas posições mais inferiores do ranking.

Os resultados deste estudo obtidos a partir do SAD definiram que as relações apresentadas na tabela 6 podem ser observadas:

Posição no <i>ranking</i>	Seção	$r(a_i) - r(a_{i+1})$	Razão
1	S ₆	2,08E-05	2,5589
2	S ₅	8,11E-06	0,4549
3	S ₁	1,78E-05	1,0443
4	S ₄	1,71E-05	0,2070
5	S ₂	8,25E-05	-
6	S ₃	-	-

Tabela 6. Comparação dos valores do risco e razões de incrementos do risco entre seções priorizadas do gasoduto

Os resultados da Tabela 6 mostram que, um incremento nos valores de risco da seção S₆ para a seção S₅ é aproximadamente 2,5 vezes maior que o incremento dos valores do risco da seção S₅ para a seção S₁. A partir desta análise de dados, observa-se que a seção S₆ deve ser a primeira a receber alocação de recursos disponíveis caso exista um programa de prevenção para a minimização do risco.

5.9. Análise de Sensibilidade

O SAD viabiliza uma análise de sensibilidade que possibilita a avaliação da robustez do modelo baseada em dados e parâmetros aplicados. Quando variada, por exemplo, a probabilidade de ocorrência do cenário θ_{R5} , observa-se que não há alteração nas posições do *ranking*, conforme visualizado na Tabela 7.

Posição no <i>ranking</i>	-15,00%		Normal		15,00%	
	Seção	R(a _i)	Seção	R(a _i)	Seção	R(a _i)
1	S ₆	1,025E-03	S ₆	1,047E-03	S ₆	1,074E-03
2	S ₅	1,002E-03	S ₅	1,026E-03	S ₅	1,050E-03
3	S ₁	9,940E-04	S ₁	1,017E-03	S ₁	1,042E-03
4	S ₄	9,775E-04	S ₄	9,997E-04	S ₄	1,023E-03
5	S ₂	9,589E-04	S ₂	9,826E-04	S ₂	1,007E-03
6	S ₃	8,779E-04	S ₃	9,001E-04	S ₃	9,225E-04

Tabela 7. Análise de Sensibilidade para θ_{R5}

Também é viável a realização de uma análise do impacto dos parâmetros das funções utilidade elicitadas pelo decisor. Inerentes a qualquer processo de elicitação, pequenas divergências com a realidade podem impactar no resultado da análise de maneira drástica. Deste modo, esta análise serve para permitir ao decisor uma visualização do impacto de pequenas variações nos parâmetros adotados. Na Tabela 8, observa-se o resultado de uma análise de sensibilidade feita com o parâmetro da função utilidade da dimensão financeira.

Posição no <i>ranking</i>	-15,00%		Normal		15,00%	
	Seção	R(a _i)	Seção	R(a _i)	Seção	R(a _i)
1	S ₆	1,045E-03	S ₆	1,047E-03	S ₆	1,047E-03
2	S ₅	1,023E-03	S ₅	1,026E-03	S ₅	1,028E-03

3	S ₁	1,015E-03	S ₁	1,017E-03	S ₁	1,019E-03
4	S ₄	9,984E-04	S ₄	9,997E-04	S ₄	1,000E-03
5	S ₂	9,785E-04	S ₂	9,826E-04	S ₂	9,853E-04
6	S ₃	8,966E-04	S ₃	9,001E-04	S ₃	9,025E-04

Tabela 8. Análise de Sensibilidade para o parâmetro da função utilidade da dimensão financeira

Os resultados mostram que o procedimento foi robusto o bastante para garantir ao decisor a sua recomendação.

6. Conclusões

O artigo apresentado teve como objetivo, demonstrar que o uso de um SAD no ambiente de análise de riscos em gasodutos é viável, a partir do momento que se verifica a característica não-estruturada do problema, o grande número de variáveis e parâmetros envolvidos, assim como a flexibilidade necessária durante o procedimento da análise de seções. A utilização do SAD em conjunto com a aplicação realística do modelo de decisão multicritério possibilita ao decisor um apoio para a tomada de decisões relativas às seções definidas como as de maior prioridade. Através de uma forma simples e direta foi realizada a ordenação do risco dos setores, estando as atividades mais conservadoras atribuídas ao ponto mais crítico. O SAD pode ser considerado uma boa ferramenta de apoio já que tornou possível ao decisor um maior conhecimento do problema em questão, fazendo com que os dados fossem transformados em informações de grande utilidade.

Vale ressaltar ainda que fatores enriquecedores podem ser inseridos ao processo. No entanto, como um ponto de partida inicial, o procedimento apresentado neste trabalho apresentou resultados satisfatórios.

Agradecimentos

Este trabalho teve o suporte parcial do CNPq e do IPSID (Instituto de Pesquisa em Sistema de Informação e Decisão).

Referências

- AFGAN, N. H.; CARVALHO, M. G.; PILAVACHI, P. T. & MARTINS, D.** *Evaluation of natural gas supply options for Southeast and Central Europe: Part 2. Multi-criteria assessment.* Energy Conversion and Management Vol.49, p.2345–2353, 2008.
- AFGAN, N. H.; PILAVACHI, P. T. & CARVALHO, M. G.** *Multi-criteria evaluation of natural gas resources.* Energy Policy Vol. 35, p.704–713, 2007.
- ALENCAR, M. H., CAVALCANTE C. A. V. & ALMEIDA, A.T.** *Priorities Assignment for Actions in a Transport System Based on a Multicriteria Decision Model.* ESREL'09 Conference, Prague, 7-10 Sept 2009.
- ALMEIDA, A. T.; COSTA A. P. & MIRANDA C.,** *Informação e gestão.* In: **ALMEIDA, A. T. & RAMOS, F.** *Gestão da informação na competitividade das organizações.* 2. ed, Recife: Editora da UFPE, p 3-12, 2002.
- BERTOLINI, M. & BEVILACQUA, M.** *Oil pipeline spill cause analysis: A classification tree approach.* Journal of Quality in Maintenance Engineering Vol.12, p.186-198, 2006.
- BHATTACHARYYA, S. C.** *Energy sector management issues: an overview.* International Journal of Energy Sector Management, Vol. 1, n.1, p. 13-33, 2007.
- BISHOP, I. D.; CHRISTIAN, S. & KATHRYN, J. W.** *Using virtual environments and agent models in multi-criteria decision-making.* Land Use Policy Vol. 26, p.87–94, 2008.
- BRITO, A.J. & ALMEIDA, A.T.** *Multi-attribute risk assessment for risk ranking of natural gas pipelines.* Reliability Engineering & System Safety, Vol. 94 , n.2, p.187-198, 2009.

- BRITO, A.J.; ALMEIDA, A.T. & MOTA, C.M.M.** *A multicriteria model for risk sorting of natural gas pipelines based on ELECTRE TRI integrating Utility Theory.* European Journal of Operational Research, artigo aceito em 2009 para publicação, aguarda impressão.
- CAPUTO, A. C. & PELAGAGGE, P. M.** *An inverse approach for piping networks monitoring.* Journal of Loss Prevention in the Process Industries Vol. 15, p.497–505, 2002.
- CHEBOUBA A.; YALAOUI F.; SMATI A.; AMODEO L.; YOUNSI K. & TAIRI A.** *Optimization of natural gas pipeline transportation using ant colony optimization.* Computers & Operations Research Vol. 36, p.1916 1923, 2009.
- CLERICUZI, A. Z.; ALMEIDA, A. T. & COSTA, A. P.** *Aspectos relevantes dos SAD nas organizações: um estudo exploratório.* Prod., São Paulo, Vol. 16, n. 1, 2006.
- COLLINS T. R.; ROSSETTI M. D.; NACHTMANN H. L. & OLDHAM J. R.** *The use of multi-attribute utility theory to determine the overall best-in-class performer in a benchmarking study.* Benchmarking: An International Journal, Vol. 13, n. 4, p. 431-446, 2006.
- COSTA, A.P.** *Planejamento de Sistemas de Informação e Modelos de Decisão Multicritério para Seleção de Alternativas.* Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.
- HAUSAMANN D.; ZIRNIG W.; SCHREIER G. & STROBL P.** *Monitoring of gas pipelines – a civil UAV application.* Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal Vol. 77, n.5, p.352-360, 2005.
- HE, Y. & HUANG, R.** *Risk attributes theory: Decision making under risk.* European Journal of Operational Research Vol. 186, p.243–260,2008.
- KEENEY, R. L. & RAIFFA, H.** *Decisions with multiple objectives: Preferences and value trade-off.* John Wiley & Sons, New York, 1976.
- LE MAY I. & DECKKER E.** *Reducing the risk of failure by better training and education,* Engineering Failure Analysis Vol. 16, p.1153–1162, 2009.
- LOPES, Y.G.; ALMEIDA, A. T. DE; ALENCAR, M. H.; WOLMER-FILHO L. A. F. & SIQUEIRA, G. B. A.** *A Decision Support System to Evaluate Gas Pipeline Risk in Multiple Dimensions.* ESREL'09 Conference, Prague, 7-10 Sept 2009.
- MOTA, C. M. M. & ALMEIDA, A.T.** *Método Multicritério Electre IV-H para priorização de atividades em projetos,* Pesquisa Operacional Vol. 27, n.2, p.247-269, 2007.
- OLIVEIRA A.,** *South Cone energy integration: a look from Brazil,* International Journal of Energy Sector Management Vol.1, n.2, p. 122-140, 2007.
- OLORUNNIWO, O. E.; IMASOGIE B. I. & AFONJA A. A.** *Evaluation of pipeline corrosion in sour-gas environment.* Anti-Corrosion Methods and Materials Vol.54, n. 6, p. 346–353, 2007.
- PAPADAKIS G. A.** *Assessment of requirements on safety management systems in EU regulations for the control of major hazard pipelines.* Journal of Hazardous Materials Vol. 78, p. 63-89, 2000.
- SCHAFFER M. B.** *The great gas pipeline game: monopolistic expansion of Russia's Gazprom into European markets.* Foresigh. Vol.10, n.5, p.11-23, 2008.
- SKLAVOUNOS S. & RIGAS F.** *Estimation of safety distances in the vicinity of fuel gas pipelines.* Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 19, p.24-31, 2006.
- VINCKE, P.** *Multicriteria Decision-aid.* John Wiley & Sons, Bruxelles, 1992.